



**Diana Cristina de Oliveira Gomes Cordeiro**

Licenciada em Ciências de Engenharia do Ambiente

## **ESTUDO DA REUTILIZAÇÃO DE UMA ÁGUA RESIDUAL TRATADA NA REGA PAISAGÍSTICA**

***Caso de estudo:*** ETAR da ETVO Valorsul

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, perfil Sanitária

Orientador: Prof. Doutor Nuno Lapa (Prof. Auxiliar DCTB-  
FCT-UNL)

Júri:

Presidente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Arguente: Prof. Doutora Ana Luísa Almaça da Cruz Fernando

Vogal: Prof. Doutor Nuno Carlos Lapa dos Santos Nunes



***Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística***

***Caso estudo: ETAR da ETVO - Valorsul***

© Diana Cristina de Oliveira Gomes Cordeiro

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa tem o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objectivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Nuno Lapa, um agradecimento especial pela orientação da presente dissertação de Mestrado, pela sua incansável colaboração, empenho e rigor com que sempre me apoiou no decorrer de todo o trabalho e por todos os conhecimentos que me transmitiu ao longo do curso académico.

À Valorsul, na pessoa Eng.<sup>a</sup> Filipa Vaz, pela possibilidade que me foi dada de poder utilizar como tema de dissertação, por toda a disponibilidade, atenção e colaboração prestada.

Ao Mestre Rui Barbosa, pela transmissão de conhecimentos e pela sua disponibilidade em explicar noções práticas e fundamentais a ter em consideração em determinadas partes do trabalho.

Ao Eng.<sup>o</sup> João Morais, pela partilha de conhecimentos durante o trabalho realizado.

À Sr.<sup>a</sup> Rita Braga, técnica do DCTB da FCT-UNL, e à Sr.<sup>a</sup> Rosa Pinto, auxiliar de laboratório do DCTB da FCT-UNL, pelo apoio e disponibilidade no esclarecimento de dúvidas relativas ao funcionamento dos equipamentos e armazenamento de reagentes durante a realização das análises laboratoriais.

À Mestre Isabel Neto, pelo encorajamento e auxílio nos momentos difíceis e partilha de conhecimentos durante o processo.

A todos os meus amigos(as) pela preocupação, incentivo e apoio que sempre demonstraram nos momentos de nervosismo, euforia e angústia.

Aos meus tios e avós pelos valores que sempre me inculcaram, pelo sentimento de união familiar em que sempre cresci e pelo apoio incondicional que sempre demonstraram.

Aos meus priminhos, João, Francisco e Vasco por serem como irmãos para mim e por toda energia transmitida, nos momentos menos bons.

Ao Carlos, pelo carinho, apoio, motivação, confiança, paciência e ajuda ao longo deste percurso.

Por fim, aos meus pais pela ajuda incondicional e confiança que me transmitiram desde sempre, pela enorme paciência, compreensão, motivação e carinho prestados em todos os momentos da minha vida académica.

A todos, um muito OBRIGADO!



## Resumo

A presente dissertação teve como principal objectivo avaliar a possibilidade de reutilização da água residual tratada da ETAR da ETVO-Valorsul, na rega dos espaços verdes, através da realização de ensaios laboratoriais.

Foi realizada a caracterização química do efluente tratado relativamente a parâmetros essenciais à rega e a espécies químicas que podem causar toxicidade nas plantas regadas. Esta caracterização permitiu definir factores de diluição do efluente, no caso dos parâmetros que apresentaram valores superiores aos VMA ou VMR para rega, de acordo com o Decreto-Lei nº 236/98. O efluente da ETAR da ETVO apresentou elevados teores médios de salinidade (16,1 dS/m), nitratos (662 mg  $\text{NO}_3^-/\text{L}$ ) e cloretos (2420 mg  $\text{Cl}^-/\text{L}$ ).

O primeiro ensaio foi realizado em placas de Petri, com areia e com a aplicação de uma rega diária com concentrações do efluente de 0%, 1%, 5%, 10%, 25%, 75% e 100% (v/v). Foram utilizadas as espécies vegetais *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba*, *Lepidium sativum* e uma mistura de diferentes espécies de plantas herbáceas habitualmente aplicadas na relva de jardins. Este ensaio permitiu observar a ocorrência de efeito inibidor do efluente na germinação das quatro plantas, quando foi aplicado em concentrações de 75% e 100% (v/v).

Posteriormente foi efectuado um ensaio de fitotoxicidade em “Phytotoxkit” da empresa Microbiotests, com solo padrão, com a duração de três dias, tendo a rega sido realizada apenas no primeiro dia. Foram utilizadas concentrações do efluente de 0%, 6,25%, 12,5%, 25% e 50% (v/v). As espécies utilizadas neste ensaio foram também as anteriormente referidas. Os resultados obtidos permitiram verificar um ligeiro efeito inibidor do efluente no comprimento de raízes das plantas em estudo, assim como na sua germinação, quando foi aplicado numa concentração de 50% (v/v).

Por fim realizaram-se ensaios de germinação e crescimento da mistura de relva no solo da ETVO, com rega diária utilizando o efluente tratado da ETAR desta unidade. Estes ensaios foram realizados em placa e em vaso, durante 15 dias e 30 dias, respectivamente. Obtiveram-se taxas de germinação superiores a 50%, nos ensaios em placa, e superiores a 80%, nos ensaios em vaso, quando foram efectuadas regas com concentrações de efluente até 25% (v/v). Quando foi efectuada a irrigação com uma concentração do efluente de 50% (v/v), foram obtidas taxas de germinação de 30%. Esta observação permitiu concluir que, para concentrações iguais ou superiores a 50% (v/v), o efluente teve um efeito inibidor na germinação da relva.

Após a conclusão do ensaio de germinação e crescimento com a duração de 30 dias, foram analisadas amostras do solo e da relva, com o objectivo de se avaliar a acumulação de elementos químicos. Registaram-se acréscimos dos teores de sódio, cloretos, cobre, ferro e arsénio, no solo, e de sódio, zinco e arsénio, na relva, relativamente aos vasos em que foi utilizada a concentração do efluente de 50% (v/v).

Concluiu-se que a reutilização do efluente tratado na rega dos espaços verdes das instalações da ETVO poderá ser uma opção viável, quando aplicado numa concentração inferior a 25% (v/v). Contudo, esta prática terá que ser acompanhada de um plano de monitorização da qualidade das plantas e do solo, e terá que ser garantida a protecção de eventuais aquíferos existentes na zona da ETVO.

**Palavras-chave:** Água residual tratada, ETVO, reutilização, espaços verdes, rega, toxicidade.



## Abstract

The main goal of this dissertation is to evaluate throughout laboratory tests the reuse of treated effluent from the ETVO-Valorsul WWTP in garden irrigation.

Chemical characterization of the treated effluent was performed in order to quantify parameters that are essential to plants and chemical elements that may cause toxicity. This characterization allowed the definition of possible effluent dilution factors, based on the parameters with concentrations greater than Maximum Admissible Value or Maximum Recommended Value for irrigation, according to the Decree-Law nbr 236/98. The treated effluent presented high average concentrations of salinity (16.1 dS/m), nitrates (662 mg NO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L) and chlorides (2420 mg Cl<sup>-</sup>/L).

The first assay was performed in Petri dishes with sand by applying daily irrigation with effluent concentrations of 0%, 1%, 5%, 10%, 25%, 75% e 100% (v/v). The species *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba*, *Lepidium sativum* and a mixture of different species of herbaceous plants usually applied in the garden grass were used. In this assay it was observed germination inhibition in the four plants tested when the effluent concentrations of 75% and 100% (v/v) were applied.

Afterwards, a phytotoxicity assay was performed in “Phytotoxkit” from Microbiotests Company, with standard soil, for 3 days, being the irrigation performed only in the first day. The species used in this assay were the same as mentioned above. Slight inhibitory effects of the root lengths and germination rates were observed when a effluent concentration of 50% (v/v) was applied.

Finally, germination and growing assays of grass mixture were performed in ETVO soil with daily irrigation using the treated effluent of ETVO WWTP. These assays were performed in Petri dishes and pots for periods of 15 and 30 days, respectively. Germination rates higher than 50% were obtained in Petri dishes and higher than 80% in pots when irrigations with effluent concentrations up to 25% (v/v) were performed. When the irrigation was performed with an effluent concentration of 50% (v/v), 30% germination rates were obtained. This observation allowed concluding that for effluent concentrations higher or equal to 50% (v/v), the treated effluent had an inhibitory effect on grass germination.

As the germination and growing assays have been finished after 30 days of cultivation, soil and grass samples were collected and analyzed, with the purpose to evaluate the accumulation of chemical elements. Increases in the concentrations of sodium, chlorides, copper, iron and arsenic in soil samples, and sodium, zinc and arsenic in grass samples have been registered in the pots where an effluent concentration of 50% (v/v) was applied.

It was concluded that the reuse of the treated effluent in the irrigation of ETVO's gardens might be a viable option, when applied in a concentration of lower than 25% (v/v). Nevertheless, this

practice must be accompanied by a plan to monitor the plants and soil quality, and it must be guaranteed the protection of eventual aquifers existing in the EVTO's region.

**Keywords:** Treated wastewater, ETVO, reusing, gardens, irrigation, toxicity.

## Índice

|             |  |                  |
|-------------|--|------------------|
| <b>1.</b>   | <b><i>Introdução.....</i></b>  | <b><i>1</i></b>  |
| <b>1.1.</b> | <b><i>Reutilização de águas residuais tratadas.....</i></b>                    | <b><i>1</i></b>  |
| 1.1.1.      | Importância.....   | 1                |
| 1.1.2.      | Principais aplicações das águas residuais tratadas.....                        | 3                |
| 1.1.2.1.    | Agricultura.....   | 3                |
| 1.1.2.2.    | Rega de espaços verdes.....  | 4                |
| 1.1.2.3.    | Indústria.....   | 4                |
| 1.1.2.4.    | Recarga de aquíferos.....  | 5                |
| 1.1.2.5.    | Utilizações recreativas e ambientais.....                                      | 6                |
| 1.1.2.6.    | Utilizações urbanas não-potáveis.....  | 6                |
| 1.1.3.      | Requisitos de qualidade das águas residuais tratadas para rega.....            | 6                |
| 1.1.3.1.    | Decreto-Lei 236/98, de 1 Agosto.....   | 7                |
| 1.1.3.2.    | Norma Portuguesa NP 4434.....  | 9                |
| 1.1.4.      | Efeitos da qualidade das águas residuais tratadas nas plantas e no solo.....   | 10               |
| 1.1.4.1.    | Salinidade.....  | 12               |
| 1.1.4.2.    | Nutrientes.....  | 15               |
| 1.1.4.3.    | Elementos Tóxicos.....   | 17               |
| 1.1.4.4.    | Medidas para controlar os efeitos tóxicos das águas residuais nas plantas..... | 19               |
| 1.1.5.      | Riscos associados à reutilização de águas residuais em rega paisagística.....  | 19               |
| <b>1.2.</b> | <b><i>ETVO – Valorsul.....</i></b>   | <b><i>21</i></b> |
| 1.2.1.      | Descrição da ETVO.....   | 21               |
| 1.2.2.      | A ETAR da ETVO.....  | 23               |
| <b>1.3.</b> | <b><i>Objectivos da presente dissertação.....</i></b>                          | <b><i>24</i></b> |
| <b>2.</b>   | <b><i>Material e Métodos.....</i></b>  | <b><i>25</i></b> |
| <b>2.1.</b> | <b><i>Amostras analisadas e metodologia de colheita.....</i></b>               | <b><i>25</i></b> |
| 2.1.1.      | Amostras do efluente da ETAR da ETVO.....                                      | 25               |
| 2.1.2.      | Amostras do solo da ETVO.....  | 25               |
| <b>2.2.</b> | <b><i>Caracterização química do efluente da ETAR da ETVO.....</i></b>          | <b><i>25</i></b> |
| 2.2.1.      | pH.....  | 26               |
| 2.2.2.      | Condutividade.....   | 26               |
| 2.2.3.      | CQO.....   | 26               |
| 2.2.4.      | Sólidos Suspensos Totais.....  | 27               |
| 2.2.5.      | Nitritos e Nitratos.....   | 27               |
| 2.2.6.      | Fósforo Total.....   | 27               |
| 2.2.7.      | Azoto Kjeldahl.....  | 28               |
| 2.2.8.      | Azoto Amoniacal.....   | 29               |
| 2.2.9.      | Cloretos.....  | 30               |
| 2.2.10.     | Sulfatos.....  | 30               |
| 2.2.11.     | Metais Pesados.....  | 30               |
| <b>2.3.</b> | <b><i>Caracterização química do solo da ETVO.....</i></b>                      | <b><i>31</i></b> |
| 2.3.1.      | Humidade.....  | 31               |
| 2.3.2.      | pH.....  | 32               |
| 2.3.3.      | Condutividade.....   | 32               |
| 2.3.4.      | Carbono Orgânico e Matéria Orgânica.....                                       | 32               |
| 2.3.5.      | Fósforo Total.....   | 33               |

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| 2.3.6.      | Azoto Kjeldahl.....   | 33        |
| 2.3.7.      | Azoto Amoniacal.....  | 34        |
| 2.3.8.      | Cloretos .....  | 34        |
| 2.3.9.      | Metais Pesados.....   | 35        |
| <b>2.4.</b> | <b><i>Descrição dos ensaios de germinação.....</i></b>  | <b>35</b> |
| 2.4.1.      | Ensaio de capacidade germinativa das sementes.....  | 36        |
| 2.4.1.1.    | Ensaio em placa .....   | 36        |
| 2.4.1.2.    | Ensaio em vaso .....  | 37        |
| 2.4.2.      | Ensaio de germinação em areia e em solo padrão nos quais se utilizou o efluente da ETAR da ETVO 37                    |           |
| 2.4.2.1.    | Ensaio em placa .....   | 37        |
| 2.4.3.      | Ensaio de germinação em “Phytotoxkit” com utilização de solo padrão .....   | 39        |
| 2.4.4.      | Ensaio de germinação e crescimento nos quais se utilizou o solo da ETVO e o efluente da ETAR 41                       |           |
| 2.4.4.1.    | Ensaio de germinação em placa .....   | 41        |
| 2.4.4.2.    | Ensaio de germinação e crescimento em vaso.....   | 42        |
| <b>2.5.</b> | <b><i>Caracterização química do solo da ETVO após o ensaio de germinação e crescimento de relva em vaso .....</i></b> | <b>43</b> |
| <b>2.6.</b> | <b><i>Caracterização química da relva após o ensaio de crescimento em vaso com o solo da ETVO.....</i></b>            | <b>43</b> |
| <b>3.</b>   | <b><i>Resultados e Discussão.....</i></b>   | <b>45</b> |
| <b>3.1.</b> | <b><i>Caracterização química do efluente da ETAR da ETVO .....</i></b>  | <b>45</b> |
| <b>3.2.</b> | <b><i>Caracterização química do solo da ETVO .....</i></b>  | <b>48</b> |
| <b>3.3.</b> | <b><i>Ensaio de capacidade germinativa das sementes em areia.....</i></b>   | <b>49</b> |
| 3.3.1.      | Ensaio em placa .....   | 49        |
| 3.3.2.      | Ensaio em vaso .....  | 50        |
| <b>3.4.</b> | <b><i>Ensaio de germinação em areia e utilizando o efluente da ETAR da ETVO como água de rega .....</i></b>           | <b>50</b> |
| 3.4.1.      | Ensaio em placa .....   | 51        |
| <b>3.5.</b> | <b><i>Ensaio de germinação em “Phytotoxkit” com utilização de solo padrão.....</i></b>                                | <b>58</b> |
| <b>3.6.</b> | <b><i>Ensaio de germinação e crescimento utilizando o solo da ETVO.....</i></b>                                       | <b>65</b> |
| 3.6.1.      | Ensaio em placa .....   | 65        |
| 3.6.2.      | Ensaio em vaso .....  | 67        |
| <b>3.7.</b> | <b><i>Caracterização química do solo após o ensaio de germinação de relva em vaso..</i></b>                           | <b>71</b> |
| <b>3.8.</b> | <b><i>Caracterização química da relva após o ensaio de germinação em vaso com o solo da ETVO.....</i></b>             | <b>76</b> |
| <b>4.</b>   | <b><i>Conclusões.....</i></b>   | <b>79</b> |
| <b>5.</b>   | <b><i>Propostas de Trabalho Futuro .....</i></b>  | <b>81</b> |
| <b>6.</b>   | <b><i>Referências Bibliográficas .....</i></b>  | <b>83</b> |

## Índice de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.1-</b> Efeito da salinidade e $R_{Na}$ na taxa de infiltração no solo .....  | 13 |
| <b>Figura 1.2</b> – Plano geral de integração paisagística da ETVO .....   | 22 |
| <b>Figura 2.1</b> – Recolha da amostra de solo na ETVO.....  | 25 |
| <b>Figura 2.2</b> – Ensaio em placa de capacidade germinativa de cada uma das plantas utilizadas na presente dissertação.....  | 36 |
| <b>Figura 2.3</b> – Exemplar do ensaio em vaso de capacidade germinativa.....  | 37 |
| <b>Figura 2.4</b> – Ensaio de germinação em placa com areia previamente lavada.....  | 38 |
| <b>Figura 2.5-</b> Material presente no “Phytotoxkit” .....  | 39 |
| <b>Figura 2.6</b> – Ensaio de germinação com “Phytotoxkit” com solo padrão, no início do ensaio de germinação .....  | 40 |
| <b>Figura 2.7</b> – Ensaio de germinação com “Phytotoxkit” com solo padrão, no final do ensaio de germinação (Linha vermelha: limite acima do qual se considerou uma planta como germinada)..... | 40 |
| <b>Figura 2.8</b> – Aspecto visual das concentrações do efluente da ETAR da ETVO, utilizadas na rega da relva em placa e em vaso.....  | 41 |
| <b>Figura 2.9</b> – Início do ensaio de germinação em placa, com utilização de solo da ETVO e do efluente da ETAR.....   | 41 |
| <b>Figura 2.10</b> – Ensaio de germinação e crescimento em vaso, com utilização de sementes de relva e solo da ETVO.....   | 42 |
| <b>Figura 2.11</b> – Caracterização do solo da ETVO após o período de germinação e crescimento da relva em vaso, com rega utilizando o efluente da ETAR.....                                     | 43 |
| <b>Figura 2.12</b> – Caracterização da relva após o período de germinação e crescimento em vaso com o solo da ETVO e o efluente da ETAR.....   | 44 |
| <b>Figura 3.1</b> - Imagem captada no último dia do ensaio em placa, relativo à capacidade germinativa de cada planta, em areia.....   | 49 |
| <b>Figura 3.2</b> - Ensaio em vaso, com areia, após 7 dias de germinação, relativo à capacidade germinativa de cada planta ensaiada.....   | 50 |
| <b>Figura 3.3</b> – Ensaio em placa com areia, após 15 dias, para cada planta, onde foram aplicadas concentrações crescentes de efluente da ETAR da ETVO.....                                    | 51 |
| <b>Figura 3.4</b> - Evolução da germinação do <i>Sorghum saccharatum</i> , no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....                                   | 54 |
| <b>Figura 3.5</b> - Evolução da germinação do <i>Lepidium sativum</i> , no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....                                      | 54 |
| <b>Figura 3.6</b> - Evolução da germinação de <i>Sinapis alba</i> , no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....  | 55 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Figura 3.7</b> - Evolução da germinação da mistura de relva, no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....   | <b>55</b> |
| <b>Figura 3.8</b> - Percentagens de germinação e inibição de <i>Sorghum saccharatum</i> no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....   | <b>56</b> |
| <b>Figura 3.9</b> - Percentagens de germinação e inibição de <i>Lepidium sativum</i> no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....  | <b>57</b> |
| <b>Figura 3.10</b> - Percentagens de germinação e inibição de <i>Sinapis alba</i> , no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....   | <b>57</b> |
| <b>Figura 3.11</b> - Percentagens de germinação e inibição da mistura de relva no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.....  | <b>57</b> |
| <b>Figura 3.12</b> – Ensaio de germinação do <i>Sorghum saccharatum</i> em “Phytotoxkit” com solo padrão.....   | <b>58</b> |
| <b>Figura 3.13</b> – Percentagem de germinação e inibição da germinação do <i>Sorghum saccharatum</i> , associada a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....                      | <b>59</b> |
| <b>Figura 3.14</b> – Comprimento médio de raízes e cotilédones do <i>Sorghum saccharatum</i> , associados a cada concentração de efluente e respectivos desvios padrão, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão..... | <b>59</b> |
| <b>Figura 3.15</b> - Ensaio de germinação do <i>Sinapis alba</i> em ”Phytotoxkit” com solo padrão.....  | <b>60</b> |
| <b>Figura 3.16</b> – Percentagem de germinação e inibição da germinação de <i>Sinapis alba</i> , associada a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....                             | <b>60</b> |
| <b>Figura 3.17</b> - Comprimento médio de raízes e cotilédones do <i>Sinapis alba</i> , associados a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....                                     | <b>61</b> |
| <b>Figura 3.18</b> - Ensaio de germinação do <i>Lepidium sativum</i> em ”Phytotoxkit” com solo padrão.....  | <b>61</b> |
| <b>Figura 3.19</b> – Percentagem de germinação e inibição da germinação do <i>Lepidium sativum</i> , associada a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....                         | <b>62</b> |
| <b>Figura 3.20</b> - Comprimento médio de raízes e cotilédones do <i>Lepidium sativum</i> , associados a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....                                 | <b>62</b> |
| <b>Figura 3.21</b> - Ensaio de germinação da relva em ”Phytotoxkit” com solo padrão.....  | <b>63</b> |
| <b>Figura 3.22</b> - Percentagem de germinação e inibição da germinação da relva, associada a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....  | <b>63</b> |
| <b>Figura 3.23</b> – Comprimento médio de raízes e cotilédones da relva, associados a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.....  | <b>64</b> |
| <b>Figura 3.24</b> – Ensaio de germinação, com duração de 20 dias, em placa, com relva e com solo da ETVO, no qual foi utilizado o efluente da ETAR da ETVO na concentração de 50% (v/v).....                           | <b>65</b> |
| <b>Figura 3.25</b> – Evolução do ensaio de germinação da relva, em placa com solo da ETVO e utilizando o efluente da ETAR da ETVO para se efectuar a rega.....  | <b>66</b> |
| <b>Figura 3.26</b> - Percentagens de germinação e inibição da mistura de relva, associadas às diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas na rega em placa.....                                      | <b>67</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figura 3.27</b> - Ensaio de germinação com relva, em vaso, no solo da ETVO, após 30 dias de germinação e regas diárias com o efluente da ETAR da ETVO com uma concentração de 25% (v/v).....                                  | <b>67</b> |
| <b>Figura 3.28</b> – Evolução do ensaio de germinação da relva, em vaso, com solo da ETVO e tendo-se utilizado o efluente tratado da ETAR da ETVO na rega.....   | <b>69</b> |
| <b>Figura 3.29</b> – Percentagens de germinação e inibição da mistura de relva, associadas às diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas na rega em vaso.....  | <b>70</b> |
| <b>Figura 3.30</b> – Concentrações de Sódio no solo antes do ensaio de crescimento em vaso e após a rega diária com concentrações crescentes do efluente da ETAR da ETVO, ao longo de 30 dias de ensaio .....                    | <b>71</b> |
| <b>Figura 3.31</b> – Concentrações de Cloretos no solo antes do ensaio de crescimento em vaso e após a rega diária com concentrações crescentes do efluente da ETAR da ETVO, ao longo de 30 dias de ensaio .....                 | <b>72</b> |
| <b>Figura 3.32</b> - Concentrações de Fósforo total no solo antes do ensaio de crescimento em vaso e após a rega diária com concentrações crescentes do efluente da ETAR da ETVO, ao longo de 30 dias de ensaio.....             | <b>73</b> |
| <b>Figura 3.33</b> – Presença de metais no solo da ETVO, antes e depois das sucessivas irrigações com as diferentes concentrações de efluente tratado da ETAR da ETVO, no ensaio de crescimento em vaso da mistura de relva..... | <b>75</b> |
| <b>Figura 3.34</b> – Presença de metais na mistura de relva após as sucessivas irrigações com as diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO, no ensaio de crescimento em vaso com o solo da ETVO.....                  | <b>77</b> |





## Índice de Quadros

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1.1</b> – Parâmetros de qualidade da água para reutilização na rega.....   | 8  |
| <b>Quadro 1.2</b> – Características das águas residuais que podem ser prejudiciais ao sistema solo-planta.....   | 11 |
| <b>Quadro 1.3</b> – Classificação geral da salinidade nos Solos .....  | 14 |
| <b>Quadro 1.4</b> – Tolerância de espécies de relva à salinidade .....   | 15 |
| <b>Quadro 1.5</b> – Valores máximos admissíveis para concentrações de metais pesados nos solos a regar com águas residuais tratadas (mg/kg solo seco).....   | 18 |
| <b>Quadro 1.6</b> – Valores-limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados com base numa média de 10 anos.....                                      | 18 |
| <b>Quadro 1.7</b> – Vantagens, desvantagens e riscos associados à aplicação de águas residuais tratadas em rega.....   | 20 |
| <b>Quadro 1.8</b> – Características do efluente tratado da ETAR da ETVO.....   | 23 |
| <b>Quadro 2.1</b> – Normas, metodologias, princípios dos métodos e equipamentos utilizados na quantificação de metais .....  | 31 |
| <b>Quadro 2.2</b> – Volumes totais de efluente aplicado em quinze dias no ensaio de germinação em placa, em substrato de areia, no qual se utilizou o efluente da ETAR da ETVO na rega das sementes..... | 38 |
| <b>Quadro 2.3</b> - Volume total de efluente aplicado em 20 dias, no ensaio em placa com sementes de relva e com solo da ETVO .....  | 42 |
| <b>Quadro 2.4</b> - Volume total de efluente aplicado em 30 dias, no ensaio em vaso com solo da ETVO.....  | 42 |
| <b>Quadro 3.1</b> – Características químicas do efluente da ETAR da ETVO.....  | 46 |
| <b>Quadro 3.2</b> - Características químicas do solo dos espaços verdes da ETVO .....  | 48 |
| <b>Quadro 3.3</b> – Capacidade germinativa de cada planta no ensaio em placa .....   | 49 |
| <b>Quadro 3.4</b> – Capacidade germinativa de cada planta no ensaio em placa .....   | 50 |
| <b>Quadro 3.5</b> – Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação de <i>Sorghum saccharatum</i> , em placa, com areia.....                  | 52 |
| <b>Quadro 3.6</b> – Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação de <i>Lepidium sativum</i> , em placa, com areia.....                     | 52 |
| <b>Quadro 3.7</b> - Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação de <i>Sinapis alba</i> , em placa, com areia.....                         | 53 |
| <b>Quadro 3.8</b> - Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação da mistura de relva, em placa, com areia.....                             | 53 |
| <b>Quadro 3.9</b> – Cargas totais (em kg/ha) aplicadas, durante 20 dias com regas diárias utilizando o efluente da ETAR da ETVO, no ensaio em placa, com a mistura de relva, em solo da ETVO.....        | 65 |
| <b>Quadro 3.10</b> – Cargas totais de metais pesados aplicados ao solo através das regas sucessivas utilizando o efluente da ETAR da ETVO, no ensaio em placa.....                                       | 66 |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Quadro 3.11</b> - Cargas totais (em kg/ha) aplicadas, durante 30 dias com regas diárias utilizando o efluente da ETAR da ETVO, no ensaio em vaso, com relva em solo da ETVO..... | <b>68</b> |
| <b>Quadro 3.12</b> - Quantidade de metais pesados aplicados no solo através das sucessivas regas em vaso.....   | <b>68</b> |
| <b>Quadro 3.13</b> – Quantidade de biomassa seca produzida através do ensaio em vaso, durante 30 dias.....  | <b>70</b> |

## **Lista de Abreviaturas**

CE – Condutividade Eléctrica

CQO – Carência Química em Oxigénio

EAA – Espectrómetro de Absorção Atómica

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

ETVO – Estação de Tratamento e Valorização Orgânica

SST – Sólidos Suspensos Totais

VMR – Valor Máximo Recomendado

VMA – Valor Máximo Admissível



## **1. Introdução**

### **1.1. Reutilização de águas residuais tratadas**

#### **1.1.1. Importância**

Actualmente, a água é um bem essencial para a sobrevivência de todas as espécies de vida existentes na Terra. No entanto, o seu consumo tem aumentado bastante nas últimas décadas, devido essencialmente ao seu consumo excessivo por parte dos sectores populacional, agrícola e industrial, como consequência do aumento exponencial da população mundial. O aumento do consumo de água, a nível mundial, traduz-se num enorme desequilíbrio entre as suas necessidades e disponibilidades, que poderão atingir níveis graves em épocas de escassez de precipitação (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Os recursos hídricos disponíveis, como por exemplo rios, aquíferos, lagos e lagoas, estão cada vez mais limitados quanto à qualidade da água, uma vez que não apresentam características qualitativas compatíveis com algumas utilizações humanas. Esta situação deve-se à expansão humana e ao aumento e desenvolvimento das actividades industriais que contaminam cada vez mais estes recursos hídricos. Desta forma, torna-se fundamental fazer o seu uso de forma racional para evitar desperdícios e simultaneamente desenvolver actividades que minimizem a sua degradação, ou ainda actividades de reutilização de águas residuais, tentando assim aproveitá-las da melhor forma (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). Assim, pode considerar-se que o aumento contínuo da população, as secas cada vez mais frequentes, a contaminação de águas superficiais e subterrâneas, e a distribuição irregular dos recursos hídricos são factores que têm colocado problemas ao nível do abastecimento de água, tanto em quantidade como em qualidade, o que tem levado à procura de fontes alternativas desse recurso (Asano, 2001).

O uso eficiente da água, abrangendo a componente de reutilização, traz consigo vantagens evidentes, uma vez que conduz ao alcance de benefícios, tais como, a melhoria da imagem da indústria, através da optimização da utilização dos recursos e a redução dos impactes ambientais, contribuindo para a sustentabilidade das actividades (Duarte *et al.*, 2003).

A reutilização da água, através do reaproveitamento de águas residuais tratadas, provém da necessidade de dar resposta à escassez de água a nível mundial. Este foi um dos maiores desafios do século XX que se prolonga pelo século XXI. Os efluentes têm vindo a ser considerados como um novo recurso hídrico que pode ser utilizado em actividades que exijam um menor padrão de qualidade, deixando assim maiores disponibilidades de água doce para fins que necessitam de maior qualidade, como é o caso do abastecimento de água para consumo humano (Asano, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

Sendo Portugal um país com inúmeras áreas agrícolas e espaços verdes, o aproveitamento de águas residuais é sem dúvida um benefício para a rega de zonas onde a falta de água é mais significativa, como por exemplo as regiões do Alentejo e Algarve. A reutilização da água, para além de ser uma medida que permite a recuperação de recursos fundamentais para as plantas, como é o caso da água e dos nutrientes, evita ainda a poluição dos meios receptores.

A utilização de águas residuais tratadas é exercida maioritariamente para usos que requerem maior procura deste recurso e que sejam compatíveis com a qualidade dos efluentes de ETAR. A rega agrícola, sendo uma área que consome cerca de 65% dos recursos hídricos, pode ser considerada um bom exemplo para a aplicação de águas residuais tratadas (Asano *et al.*, 2007). Em Portugal, a utilização de águas residuais tratadas não é uma prática tradicional, tanto mais que, até 1974, o tratamento de águas residuais no país era praticamente inexistente (Costa, 2003). Actualmente, a utilização de águas residuais é uma actividade vulgar, embora seja aplicada com mais frequência na agricultura e na rega de espaços verdes (Beltrão, 2002). Contudo, quanto maior a escassez de recursos hídricos no mundo, maior será a tendência para se recorrer à reutilização das águas residuais noutras aplicações para além da rega. Para que a reutilização das águas residuais seja efectuada da melhor forma, é fundamental ter conhecimento do caudal disponível e das suas flutuações, assim como das características qualitativas do efluente (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

A reutilização de águas residuais, por parte do sector industrial, é considerada uma importante estratégia, na medida em que reduz o consumo de água doce e a descarga de efluentes no meio receptor. Em termos económicos, torna-se numa vantagem, uma vez que reduz os custos associados ao abastecimento de água doce (Feng e Chu, 2004).

Segundo o Guia de Reutilização de Águas Residuais (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), os factores mais importantes a considerar no processo de selecção do tipo de aplicação a implementar são: a) A qualidade das águas residuais tratadas, que dependem unicamente do seu nível do tratamento; b) O tipo de tecnologia associado ao tratamento das águas residuais; c) O equilíbrio entre a procura e a oferta de água para reutilizar, ou seja, entre o volume de água necessário para determinada utilização e o volume disponível de águas residuais tratadas; d) As infra-estruturas necessárias à concretização da reutilização, como reservatórios para armazenamento e sistemas de transporte e distribuição; e) A sustentabilidade económico-financeira do projecto de reutilização; f) A mitigação dos impactes ambientais associados à reutilização.

Pode assim afirmar-se que a reutilização de águas residuais apresenta duas vertentes essenciais (Asano, 2001): a económica, uma vez que disponibiliza recursos de forma lucrativa (Beltrão, 2002), e a ambiental, reduzindo as descargas nos meios receptores, evitando assim a poluição dos

mesmos. A redução do volume de descarga é também um forte impulso para a reutilização de águas residuais (Stagnitti *et al.*, 1998).

Actualmente existem meios que possibilitam o tratamento de águas residuais até elevados níveis de qualidade, o que permite que os efluentes deixem de ser descarregados no meio receptor em grandes quantidades e passem a ser considerados como mais um recurso hídrico. A utilização de águas residuais tratadas é mais frequente na rega, não apenas por ser uma actividade que apresenta grandes consumos de água, mas também por ser mais fácil compatibilizar as características dos efluentes provenientes das estações de tratamento com as exigências de qualidade para os diferentes tipos de rega (IRAR, 2007).

### **1.1.2. Principais aplicações das águas residuais tratadas**

Segundo Asano (2001), Asano e Catruvo (2004) e Marecos do Monte e Albuquerque (2010), as águas residuais tratadas podem ser reutilizadas e aplicadas em áreas agrícolas, espaços verdes, indústria, recarga de aquíferos, utilizações recreativas e ambientais e utilizações urbanas não-potáveis.

#### **1.1.2.1. Agricultura**

É um sector altamente consumidor de recursos hídricos. No entanto, ao longo dos anos, tem-se vindo a tomar medidas alternativas para baixar este consumo. Uma das medidas foi a utilização de águas residuais tratadas na rega das culturas, apresentando-se assim, hoje em dia, como o sector, a nível mundial, que utiliza a maior quantidade de efluentes tratados.

A aplicação de águas residuais na agricultura é considerada uma fonte de água e nutrientes muito importante, que para além de reutilizar água, reduzindo os custos com água potável, reutiliza nutrientes, reduzindo assim a aplicação de fertilizantes, com a consequente redução de custos. Contudo, a qualidade das águas residuais tratadas utilizadas na rega dos campos agrícolas é bastante exigente, uma vez que deverá satisfazer requisitos agronómicos e de saúde pública (Asano, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

A utilização de águas residuais tratadas no sector agrícola pode originar impactes positivos e negativos, dependendo do planeamento do projecto e da gestão praticada (WHO, 2006). Este tipo de uso compreende três variáveis, dependentes entre si: o nível de tratamento, o método de rega e o tipo de cultura a regar, sendo deste modo possível controlar os riscos para a saúde pública. Os riscos ambientais resultantes da utilização das águas residuais tratadas podem ser controlados, tendo em consideração a caracterização do solo da área a regar, a sua topografia e ainda a presença de aquíferos. A rega com águas residuais, caso não seja devidamente controlada e regulada, pode

também estar associada a riscos para a saúde pública, especialmente quando os produtos agrícolas são consumidos a cru, como é o caso dos vegetais.

#### **1.1.2.2. Rega de espaços verdes**

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água (PNUEA) declara a necessidade de se reutilizar a água residual tratada, nomeadamente na rega de campos desportivos, campos de golfe e outros espaços verdes de recreio (MAOT, 2001). Este tipo de aplicação é considerado pelo PNUEA como o segundo sector que maior quantidade de água residual tratada aplica, principalmente em países desenvolvidos.

Em Portugal existe cada vez mais interesse em reutilizar águas residuais na rega de campos de golfe, por serem zonas altamente consumidoras de água. A utilização de águas residuais, convenientemente tratadas, na rega de espaços verdes, é, segundo Asano (1998) e Pereira (2009), uma vantagem competitiva a nível técnico-económico, além de ser uma opção ambientalmente recomendável. Contudo, esta actividade tem como condicionantes a saúde pública, o controlo da desinfecção, a aceitação pública e as ligações cruzadas com a rede de água potável.

Os factores que condicionam a reutilização de águas residuais em espaços verdes são os mesmos que condicionam a reutilização no sector agrícola, nomeadamente características químicas que são favoráveis ao crescimento das plantas regadas e características microbiológicas que sejam compatíveis com a protecção da saúde pública. A água de rega deve satisfazer as necessidades hídricas das plantas, proporcionar o seu bom desenvolvimento vegetativo e, no caso de serem utilizadas na rega águas residuais tratadas, a qualidade dessas águas deve cumprir os requisitos de protecção da saúde pública. A aparência é um factor bastante importante a ter em conta em espaços paisagísticos, pelo que devem ser evitados problemas de fitotoxicidade (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

#### **1.1.2.3. Indústria**

O sector industrial é considerado por Asano (2001), Asano e Catruvo (2004) e Marecos do Monte e Albuquerque (2010) como o terceiro maior utilizador de águas residuais tratadas, principalmente em sistemas de refrigeração. A utilização do efluente tratado em partes específicas do processo industrial pode obrigar a um tratamento adicional, para além do tratamento que a água residual já sofreu de forma convencional.

Os padrões de qualidade exigidos para a reutilização de águas residuais neste sector são específicos para cada tipo de indústria. Existem actividades industriais que exigem elevada qualidade da água, exemplo disso são as unidades com produção de vapor e, existem actividades que exigem menor qualidade da água utilizada, como por exemplo águas de arrefecimento. Segundo a USEPA (2004),



as indústrias que possuem sistemas de arrefecimento são grandes consumidoras de água e são também as que mais poderão beneficiar da reutilização deste recurso, uma vez que podem utilizar água com menor qualidade para a finalidade de arrefecimento. No entanto, este tipo de aplicação tem como condicionantes a probabilidade de ocorrência de incrustações, corrosão e filmes biológicos, ou seja, existem determinados requisitos da água residual que devem ser controlados de forma a não provocar incrustações e corrosão dos equipamentos industriais (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Assim, os factores considerados como determinantes para a reutilização de águas residuais em indústrias são a qualidade da água e o balanço entre as necessidades da própria indústria e as disponibilidades existentes. Com a entrada em vigor de normas cada vez mais rigorosas, a indústria tem vindo a implementar tecnologias menos poluentes e menos consumidoras de água. Esta redução nos consumos de água tratada tem levado ao aumento da utilização de águas residuais tratadas e como consequência à diminuição da dependência das indústrias, relativamente às origens de abastecimento tradicionais (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

#### **1.1.2.4. Recarga de aquíferos**

A reposição de água subterrânea, de forma natural, é um processo que ocorre muito lentamente. No entanto, a sua exploração e consumo ocorre de forma cada vez mais acelerada relativamente à taxa de reposição. Este facto conduz ao esgotamento deste recurso, sendo desta forma urgente proceder à sua reposição de forma artificial através de medidas alternativas, como é o caso da utilização de águas residuais tratadas.

A recarga de aquíferos é uma forma de reposição artificial de águas subterrâneas, sendo considerada a quarta maior aplicação de águas residuais tratadas. É um processo que tem como objectivos impedir ou atenuar o rebaixamento do nível freático em zonas de escassez de água subterrânea e a protecção dos aquíferos nas zonas costeiras contra a intrusão salina. A execução deste processo deverá ser rigorosamente monitorizada e controlada, sendo muitas das vezes uma forma indirecta de reutilização de água para posterior produção de água potável. A recarga de aquíferos depende do tipo de aquífero (confinado ou livre) e pode ser realizada de forma directa, em que a água residual tratada é bombada directamente para a zona de água subterrânea ou indirectamente através da introdução de um sistema de infiltração do efluente no solo, ou através de furos de injeção do efluente no solo, na zona imediatamente acima do nível freático (Asano, 2001; Asano e Catruvo, 2004; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Os padrões de qualidade da água exigidos neste tipo de processo têm o intuito de evitar a poluição e contaminação das águas subterrâneas, prevenir a diminuição da capacidade de infiltração do solo,

reduzir os efeitos tóxicos devido a compostos orgânicos e evitar que o solo seja excessivamente solubilizado (Asano e Catruvo, 2004).

#### **1.1.2.5. Utilizações recreativas e ambientais**

São o quinto maior uso de água residual tratada em países industrializados e consistem na reutilização de águas residuais em massas de água naturais ou artificiais, tendo como finalidade a alimentação de lagos e lagoas para a prática de actividades recreativas, e ainda a conservação ou reabilitação de zonas húmidas naturais ou artificiais. Permitem, assim, a preservação e desenvolvimento de *habitats* (Asano, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

A qualidade da água residual tratada exigida neste tipo de aplicação depende fundamentalmente da massa de água onde serão lançadas e o tipo de contacto que o ser humano poderá ter com essas mesmas massas de água. Os parâmetros mais relevantes a ter em consideração neste tipo de aplicação são os SST, os coliformes fecais e a turvação da água residual. Contudo, os metais pesados devem ser monitorizados com frequência, uma vez que pode ocorrer biocumulação nos seres vivos que habitam as massas de água (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

#### **1.1.2.6. Utilizações urbanas não-potáveis**

Segundo Asano (2001) e Marecos do Monte e Albuquerque (2010), em meios urbanos, a utilização de água potável em actividades que não necessitam de água com elevada qualidade pode ser substituída por água residual tratada. Exemplos disso são os combates a incêndios, descargas de autoclismos, lavagem de pavimentos, lavagem de contentores de resíduos urbanos. As vantagens económicas da utilização deste tipo de reutilização em meios urbanos podem ainda ser reforçadas com a aplicação de rega paisagística. Contudo, a reutilização de águas residuais tratadas, em sistemas urbanos não potáveis, apenas tem vantagem quando existe um volume significativo exigido para satisfazer as necessidades pretendidas.

A garantia do abastecimento de água a reutilizar em quantidade é seguramente o factor condicionante da sua reutilização. A reutilização de água residual, nomeadamente para a descarga de autoclismos e combate a incêndios, deverá apresentar características de qualidade que não conduzam ao crescimento de biofilmes nas paredes das tubagens e a fenómenos de deposição, corrosão e incrustações.

#### **1.1.3. Requisitos de qualidade das águas residuais tratadas para rega**

A utilização de águas residuais tratadas na rega apenas pode ser considerada como um processo seguro do ponto de vista ambiental e de saúde pública, caso se enquadre devidamente nas medidas normativas e regulamentares já existentes. Essas medidas asseguram o eficiente tratamento das

águas residuais de acordo com a utilização a que se destina, asseguram o devido manuseamento durante a sua aplicação e minimizam os riscos através de um acompanhamento ambiental dos ecossistemas potencialmente afectados pela rega. Desta forma, torna-se mais fácil alcançar a aceitação pública (IRAR, 2007).

A rega, tanto agrícola como paisagística, com águas residuais tratadas são duas das formas mais utilizadas para reutilizar este recurso hídrico, não apenas por serem actividades que implicam grandes quantidades de água, como também por serem actividades onde se consegue conciliar as características do efluente e os tipos de plantas a regar. Para além desta vantagem e do benefício socio-económico associado à utilização deste recurso hídrico alternativo, a reutilização fornece benefícios ambientais que consistem na redução da carga poluente que é descarregada no meio receptor com o aproveitamento dos nutrientes existentes nas águas (IRAR, 2007).

Na reutilização de águas residuais, a sua qualidade deve ser sempre avaliada em função da utilização pretendida e não em relação ao seu nível de tratamento. Os diferentes tipos de reutilização, tal como já foi mencionado anteriormente na presente dissertação, requerem diferentes características químicas, físicas e microbiológicas do efluente. Cada tipo de reutilização encontra-se sujeito a diferentes padrões de qualidade, nomeadamente relacionados com os níveis de contaminação salina, concentração de organismos patogénicos, presença de metais pesados e substâncias que possam limitar a utilização das águas residuais (Beltrão, 2005).

De seguida serão apresentados e descritos dois dos documentos legais pelos quais a prática de reutilização de águas residuais, em Portugal, se encontra regulamentada: O Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto, e a Norma Portuguesa NP 4434.

#### **1.1.3.1. Decreto-Lei 236/98, de 1 Agosto**

Segundo o Decreto-Lei nº236/98, de 1 de Agosto, as águas residuais podem ser classificadas do seguinte modo:

- Águas residuais domésticas: são oriundas principalmente do metabolismo humano e actividades domésticas;
- Águas residuais industriais: provenientes de qualquer tipo de actividade que não possam ser classificadas como águas residuais domésticas, nem como águas pluviais;
- Águas residuais urbanas: águas residuais domésticas, mas podem resultar da mistura com águas residuais industriais e/ou com águas pluviais;
- Águas de rega: podem ter origem superficial, subterrânea ou residual, e que visa satisfazer ou complementar as necessidades hídricas das culturas agrícolas ou florestais.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

A origem das águas residuais possibilita classificar as suas características químicas em dois grandes grupos: características químicas inorgânicas e características químicas orgânicas. As características químicas inorgânicas abrangem parâmetros como o azoto amoniacal, o azoto kjeldahl, os nitratos, os nitritos, o fósforo, o pH, a alcalinidade, os cloretos, os sulfatos e metais. As características químicas orgânicas abrangem as determinações de carbono orgânico total, carbono orgânico dissolvido, carência bioquímica em oxigénio e carência química de oxigénio. As características biológicas são definidas através das determinações de microrganismos e da toxicidade. As características físicas das águas residuais podem, por sua vez, ser analisadas de acordo com determinações como o teor de sólidos, temperatura, odor, turvação, cor, condutividade e densidade.

O Decreto-Lei 236/98 apresenta ainda os valores máximos recomendados (VMR) e os valores máximos admissíveis (VMA) relativos a parâmetros químicos, físicos e biológicos da água residual a ter em consideração na sua reutilização, por serem potenciais causadores de riscos ambientais e de saúde pública. A qualidade da água residual para rega deve satisfazer as exigências impostas pela referida legislação, assim como ser adequada à cultura que se pretende regar. No referido Decreto-Lei podem ainda ser encontrados os parâmetros que limitam a qualidade da água a regar, nomeadamente pH, salinidade, razão de adsorção do sódio ( $R_{Na}$ ) e os sólidos suspensos totais (SST). Os diversos valores a cumprir podem ser observados no Quadro 1.1.

**Quadro 1.1** – Parâmetros de qualidade da água para reutilização na rega.  
(Decreto-Lei 236/98)

| <b>Parâmetros</b>             | <b>VMR</b> | <b>VMA</b> |
|-------------------------------|------------|------------|
| <b>Alumínio (mg Al/L)</b>     | 5,0        | 20         |
| <b>Arsénio (mg As/L)</b>      | 0,1        | 10         |
| <b>Bário (mg Ba/L)</b>        | 1,0        | *          |
| <b>Berílio (mg Be/L)</b>      | 0,5        | 1,0        |
| <b>Boro (mg B/L)</b>          | 0,3        | 3,75       |
| <b>Cádmio (mg Cd/L)</b>       | 0,01       | 0,05       |
| <b>Chumbo (mg Pb/L)</b>       | 5          | 20         |
| <b>Cloretos (mg Cl/L)</b>     | 70         | -          |
| <b>Cobalto (mg Co/L)</b>      | 0,05       | 10         |
| <b>Cobre (mg Cu/L)</b>        | 0,2        | 5          |
| <b>Crómio total (mg Cr/L)</b> | 0,1        | 20         |
| <b>Estanho (mg Sn/L)</b>      | 2,0        | *          |
| <b>Ferro (mg Fe/L)</b>        | 5          | *          |
| <b>Flúor (mg F/L)</b>         | 1          | 15         |
| <b>Lítio (mg Li/L)</b>        | 2,5        | 5,8        |
| <b>Manganês (mg Mn/L)</b>     | 0,2        | 10         |
| <b>Molibdénio (mg Mo/L)</b>   | 0,005      | 0,05       |

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**

**Quadro 1.1 – (Cont.)**

| Parâmetros  |            | VMR     | VMA     |
|---|------------|---------|---------|
| Níquel (mg Ni/L)  |            | 0,5     | 2       |
| Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)  |            | 50      | *       |
| Salinidade  | CE (dS/m)  | 1       | -       |
|   | SDT (mg/L) | 640     | -       |
| R <sub>Na</sub> **  |            | 8       | -       |
| Selénio (mg Se/L)   |            | 0,02    | 0,05    |
| !Sólidos suspensos totais (mg SST/L)  |            | 60      | -       |
| Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)  |            | 575     | *       |
| Vanádio (mg V/L)  |            | 0,1     | 1       |
| Zinco (mg Zn/L)   |            | 2       | 10      |
| pH  |            | 6,5-8,4 | 4,5-9,0 |
| Coliformes fecais (Nº/100ml)  |            | 100     | -       |
| Ovos de parasitas intestinais (Nº/L)  |            | -       | 1       |
| (-) Valor não definido;<br>*Valor que pode ser fixado pela entidade licenciadora;<br>**<br>$R_{Na} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$ |            |         |         |

### 1.1.3.2. Norma Portuguesa NP 4434

A Norma Portuguesa NP 4434, publicada em 2005, apesar de ser aplicada apenas à reutilização de águas residuais urbanas e não tendo cariz legislativo, apresenta um importante contributo para a prática sustentável da utilização de águas residuais tratadas para rega, uma vez que define requisitos de qualidade das águas residuais tratadas a reutilizar na rega, critérios a adoptar no processo de rega, monitorização ambiental e protecção das zonas regadas com água residual tratada.

Os níveis de qualidade da água residual tratada diferem consoante os tipos de utilização pretendido, ou seja, existem determinadas utilizações mais susceptíveis à contaminação do que outras. Deste modo, segundo a NP 4434, as culturas a regar podem ser agrupadas em quatro classes, de acordo com o nível de contaminação microbiológica originada pela rega com água residual tratada:

- **Classe A** - Culturas hortícolas para consumo em cru.
- **Classe B** - Relvados, parques e jardins públicos e relvados para a prática de desportos, zonas florestadas com fácil acesso para o público.

- **Classe C** - Culturas hortícolas para consumir cozinhadas, culturas forrageiras, vinhas e pomares.
- **Classe D** - Culturas cerealíferas (com exclusão do arroz, por ser regado por alagamento), culturas hortícolas para laboração industrial, culturas destinadas a produção de matérias-primas para as indústrias têxtil, de extracção de óleos e essências vegetais e similares, culturas florestais e relvados situados em locais de difícil acesso para o público ou com acesso controlado.

Segundo esta norma, os utilizadores das águas residuais tratadas deverão garantir que as quantidades de poluentes aplicadas ao solo devem ser compatíveis com as plantas a regar, de forma a garantir que as concentrações desses poluentes no solo, nas águas e nas plantas não atinjam valores inconvenientes para o desenvolvimento das plantas, para o ambiente e para a saúde pública. A norma sugere que, no caso específico de relvados e outros espaços verdes, a rega deve ser efectuada sempre fora do horário de acesso do público.

Comparativamente à regulamentação de outros países, esta é uma norma inovadora no que respeita a procedimentos de monitorização do biossistema água-solo-planta, uma vez que indica procedimentos para avaliação do efeito da rega sobre as características químicas do solo e das águas subterrâneas. Para que este controlo dos efeitos seja viável, a NP 4434 define que o utilizador de águas residuais tratadas deve garantir que as quantidades totais de poluentes contidos na água não sejam aplicadas ao solo em condições susceptíveis de pôr em causa a qualidade do solo, as águas subterrâneas e as superficiais. Para tal, a norma indica a necessidade de se utilizar um *Mapa de Registo de nutrientes e metais pesados aplicados ao solo*, onde podem ser registados os seguintes dados: a) volumes de água aplicados diariamente no solo; b) concentração dos nutrientes (azoto, fósforo e potássio) na água de rega; c) concentração de metais pesados na água de rega e d) quantidades de nutrientes e metais pesados aplicadas.

#### **1.1.4. Efeitos da qualidade das águas residuais tratadas nas plantas e no solo**

As águas residuais apresentam na sua constituição compostos químicos e microbiológicos que não são removidos ou inactivados na sua totalidade nas estações de tratamento. Alguns desses constituintes, presentes nos efluentes tratados, interagem com as plantações por elas regadas e com o solo de suporte ao crescimento das mesmas, podendo esta interacção ser a causa de alguns riscos para a planta, para a saúde pública e para o ambiente. Exemplo disso é a acumulação excessiva de sais e metais pesados na planta e no solo, provocando consequentemente um elevado risco de toxicidade nas plantas.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*

*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

No Quadro 1.2 apresentam-se os parâmetros mais relevantes para a planta e para o solo, no contexto da reutilização de águas residuais tratadas na rega.

**Quadro 1.2** – Características das águas residuais que podem ser prejudiciais ao sistema solo-planta (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

| <b>Característica</b>                 | <b>Parâmetro de avaliação</b>  | <b>Efeito</b>   |
|---------------------------------------|--|---|
| <b>Salinidade</b>                     | Condutividade Eléctrica (CE)<br>Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)<br>Iões específicos (Na, Ca, Mg, Cl, B) | <ul style="list-style-type: none"><li>- A elevada salinidade pode provocar danos e prejudicar o bom desenvolvimento da planta;</li><li>- Alguns elementos podem ser tóxicos para as plantas (Na, B, Cl);</li><li>- O Na pode induzir problemas de permeabilidade no solo.</li></ul>       |
| <b>Sólidos em suspensão</b>           | Sólidos Suspensos Totais (SST)   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Elevadas concentrações de SST podem provocar depósitos de sólidos, entupimento nos sistemas de rega e ainda reduzir a permeabilidade do solo.</li></ul>   |
| <b>Matéria Orgânica Biodegradável</b> | Carência Química de Oxigénio (CQO), Carência Bioquímica de Oxigénio (CBO)                                | <ul style="list-style-type: none"><li>- Em efluentes tratados, este são parâmetros que por norma não causam grandes problemas.</li></ul>  |
| <b>Nutrientes</b>                     | Azoto<br>Fósforo<br>Potássio   | <ul style="list-style-type: none"><li>- São nutrientes fundamentais para o crescimento das plantas. A sua presença valoriza a qualidade da água de rega;</li><li>- Aplicados no solo em quantidades excessivas podem provocar poluição das águas subterrâneas e fitotoxicidade.</li></ul> |
| <b>Actividade hidrogeniónica</b>      | pH   | <ul style="list-style-type: none"><li>- O pH das águas residuais afecta a solubilidade dos metais e a alcalinidade do solo.</li></ul>   |
| <b>Metais Pesados</b>                 | Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Alguns dos metais acumulam-se nas plantas e no solo, tornando-se tóxicos para as plantas e animais;</li><li>- A sua presença pode ser um factor limitante na utilização de águas residuais para rega.</li></ul>                                   |
| <b>Cloro Residual</b>                 | Cloro livre,<br>Cloro Combinado  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Teores excessivos de cloro livre podem provocar queimaduras nas folhas;</li><li>- A presença de cloro combinado não causa problemas.</li></ul>  |
| <b>Microrganismos patogénicos</b>     | Coliformes Fecais  | <ul style="list-style-type: none"><li>- Organismos causadores de patogenicidade.</li></ul>  |

#### **1.1.4.1. Salinidade**

De uma forma geral, as águas residuais apresentam, na sua constituição, uma maior quantidade de sais dissolvidos e uma maior proporção de sódio relativamente às águas naturais. Os solos irrigados com estas águas irão conter, por consequência, uma grande quantidade de sais, uma vez que, em cada irrigação, são adicionados mais sais ao solo, o que provocará uma acumulação dos mesmos e, consequentemente, maior concentração no solo relativamente à água utilizada na irrigação (Ayers e Westcot, 1985; Blaylock, 1994). Desta forma, a salinidade é considerada uma restrição efectiva para a reutilização de águas residuais em irrigação (Stagnitti *et al.*, 1998).

Os problemas de salinidade existem quando os sais se acumulam na zona das raízes, de tal forma que a planta não consegue extrair água suficiente do solo, durante um longo período de tempo, provocando consequentemente reduções significativas no processo de crescimento. Os sintomas apresentados pela planta são, em aparência, semelhantes aos efeitos de seca, apresentando-se murchas e de tonalidade mais escura, variando, contudo, consoante o estágio de crescimento da planta, sendo os danos mais perceptíveis durante os primeiros estágios de crescimento. O excesso de sais sobre as plantas pode tornar-se tóxico e afectar o equilíbrio nutricional da mesma. Ou seja, as elevadas quantidades de sais no solo também influenciam a absorção de nutrientes presentes na água, por parte da planta.

O teor de sal varia de acordo com a profundidade a que se encontra a raiz, ou seja, a planta apenas é exposta a elevadas concentrações de sais presentes na água na zona inferior da raiz, devido à reduzida lixiviação nesta área comparativamente à zona superior, que está sujeita a uma maior quantidade de passagem de água, dando-se a lavagem dos sais, contrariando desta forma a acumulação dos mesmos. Existe assim a necessidade de satisfazer as necessidades hídricas em profundidade, onde a água do solo apresenta salinidade mais elevada e maior potencial osmótico (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Os problemas de infiltração relacionados com a qualidade da água ocorrem na maioria dos casos na superfície dos solos e estão associados à estabilidade estrutural do solo superficial e ao seu baixo teor de cálcio, relativamente ao teor de sódio. Este é um problema que tem como resultado a diminuição do fornecimento de água à planta, ou seja, problemas de infiltração reduzem a quantidade de água presente no solo para ser utilizada, enquanto a salinidade causa a redução da disponibilidade de água (Ayers e Westcot, 1985).

A presença de elevadas concentrações de sódio nos solos traduz-se num crescimento inferior das plantas, inibindo-as de absorver os restantes nutrientes. A absorção de sódio, em excesso, pelas plantas poderá ser inconveniente na medida em que é susceptível de criar conflitos e desequilíbrios com outros elementos nutritivos (Santos, 2001). O sódio em excesso nos solos induz ainda

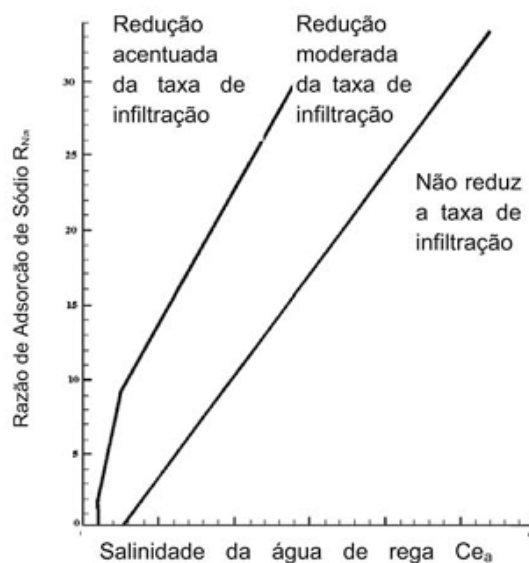


alterações nas propriedades físicas dos solos, sendo o efeito mais notável a dispersão dos agregados do solo, que podem afectar as plantas através da redução da permeabilidade da água e do ar do solo, encharcamento e dificuldade de penetração das raízes das plantas (Stagnitti *et al.*, 1998). O uso de águas de irrigação com elevadas concentrações de sódio pode assim converter um bom solo num solo pobre para crescimento (Belden e Panter 2005).

A taxa de infiltração, para além de variar com as características do solo, como a estrutura e a composição, aumenta com o aumento da salinidade da água e com a diminuição do teor de sódio relativamente ao cálcio e magnésio, ou seja, com a diminuição da Razão de Adsorção de Sódio ( $R_{Na}$ ). Esta razão representa a proporção da concentração de sódio relativamente às concentrações de cálcio e magnésio. É fundamental o seu conhecimento, pois para condutividades idênticas podem estar associados riscos de “sodicidade” muito diferentes (Ayers e Westcot, 1985; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

O sódio é um elemento altamente salino, isto é, tende a aumentar a condutividade eléctrica do solo, uma vez que é pouco absorvido pelas plantas e por não precipitar pelos constituintes normais da solução. A “sodicidade” é considerada, por vezes, mais inconveniente do que a salinidade, pois reflecte a redução do potencial osmótico do solo e, por consequência, uma maior dificuldade de absorção de quantidades suficientes de água por parte das plantas (Santos, 2001).

Assim, o sódio é considerado um dos iões com mais potencial tóxico. No entanto, esse potencial tóxico pode ser reduzido, caso o cálcio esteja disponível no solo em quantidade suficiente, e ainda por lixiviação. Os efeitos da salinidade da água de rega sobre a taxa de infiltração no solo e  $R_{Na}$  pode ser observada na Figura 1.1.



**Figura 1.1-** Efeito da salinidade e  $R_{Na}$  na taxa de infiltração no solo (Ayers e Westcot, 1985)

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

Nem todas as plantas respondem de igual forma à salinidade, podendo apresentar mais ou menos resistência e, como tal, manifestam padrões de crescimento diferentes. A tolerância das plantas à salinidade é afectada pelo clima, dependendo ainda da fase de crescimento da respectiva planta. Durante o Inverno, as plantas resistem melhor à salinidade da água de rega. No entanto, apresentam-se mais sensíveis a este problema durante a fase de germinação e crescimento inicial (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). Cada planta é classificada de acordo com a sua tolerância à salinidade, de forma a definir os graus de restrição à utilização de águas salinas na sua irrigação. As plantas mais tolerantes apresentam maior capacidade de absorver água através de solos salinos e maior capacidade de efectuar os ajustes osmóticos, de forma a conseguir extrair mais água do solo (Ayers e Westcot, 1985).

A salinidade de um solo ou de uma água pode ser determinada através da medição da condutividade eléctrica. Quanto maior a condutividade, maior a salinidade. No Quadro 1.3 apresenta-se a relação existente entre a condutividade e a tolerância à salinidade por parte das plantas, assim como os potenciais efeitos.

**Quadro 1.3** – Classificação geral da salinidade nos Solos (Jones, 2003; Belten, 2005)

| <b>CE<br/>(dS/m)</b> | <b>Classificação</b>       | <b>Efeitos</b>   |
|----------------------|----------------------------|--|
| 0-2                  | Muito ligeiramente salinos | Efeitos da salinidade muito insignificantes.   |
| 2-4                  | Moderadamente salinos      | A salinidade pode restringir o crescimento a plantas muito sensíveis.                                |
| 4-8                  | Solos Salinos              | Apenas germinam as plantas tolerantes à salinidade. Restringe o nascimento e crescimento de plantas. |
| 8-16                 | Fortemente Salinos         | Apenas plantas tolerantes à salinidade irão crescer e apresentar um crescimento satisfatório.        |
| >16                  | Muito Fortemente Salinos   | Apenas um número muito restrito de plantas conseguirá crescer satisfatoriamente.                     |

Segundo Marecos do Monte e Albuquerque (2010), a salinidade é a característica mais relevante das águas residuais tratadas a ter em consideração na rega paisagística, pelo que as plantas seleccionadas para projectos paisagísticos devem ser pelo menos mediantemente tolerantes à salinidade.

Segundo Blaylock (1994), as plantas podem ser classificadas como sensíveis ou moderadamente sensíveis à salinidade e a tolerância ao sal, durante a germinação, é geralmente menor do que na

***Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.***  
***Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul***

fase de planta adulta. No Quadro 1.4 apresentam-se as tolerâncias de algumas espécies de relva à salinidade.

**Quadro 1.4** – Tolerância de espécies de relva à salinidade (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010)

| <b>CE da água de rega<br/>(dS/m)</b> | <b>Espécies de relva</b>   | <b>Tolerância</b>       |
|--------------------------------------|--|-------------------------|
| 0,7                                  | <i>Poa pratensis</i><br><i>Poa trivialis</i><br><i>Poa annua</i><br><i>Agrotis tenuis</i>  | Sensível                |
| 0,7 – 3                              | <i>Festuca rubra</i> var. <i>rubra</i><br><i>Festuca rubra</i> var. <i>commutata</i><br><i>Festuca ovina</i><br><i>Agrophirum smithii</i>  | Mediamente<br>tolerante |
| 3 – 8                                | <i>Synodon dactylon</i><br><i>Zoysia</i> spp.<br><i>Agrostisstolonifera</i><br><i>Festuca arundinacea</i><br><i>Lolium perenne</i><br><i>Festuca rubra</i> var. <i>tricophilla</i> | Tolerante               |

De forma a evitar a acumulação de sal no solo devem ser aplicadas maiores quantidades de água para que ocorra a lixiviação dos sais no solo. Em regiões áridas, os sais ficam acumulados na camada superior do solo já que a precipitação anual não é suficiente para movê-los para a zona profunda da raiz. Quando presentes, as camadas impermeáveis do solo, como as camadas de barro mais densas, podem também reprimir a movimentação profunda destes sais na maioria dos solos (Belten, 2005). No entanto, existem sais, nomeadamente nitratos, que através da lixiviação podem actuar como poluentes ambientais em águas subterrâneas (Blaylock, 1994).

#### **1.1.4.2. Nutrientes**

Consideram-se essenciais para as plantas elementos que ou são indispensáveis ao seu crescimento e desenvolvimento, ou que estão envolvidos no seu metabolismo. Os elementos essenciais podem ter níveis de absorção diferentes, e como tal ser divididos em dois grupos: macronutrientes e micronutrientes. No grupo dos macronutrientes incluem-se elementos como Azoto (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), que, de um modo geral, não estão disponíveis no solo em quantidades suficientes para serem absorvidos pelas plantas, pelo que se recorre à adição dos mesmos quando necessário. Esta adição pode ser realizada através da rega com águas residuais tratadas (Santos, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

As águas residuais, resultantes do processamento de alimentos ou de fontes domésticas, são conhecidas por serem ricas em azoto com valores que variam entre 10-50 mg N-NO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup>, sendo o

factor mais importante para as plantas a quantidade de azoto total, seja na forma orgânica ou inorgânica (Ayers e Westcot, 1985). Contudo, nem todo o azoto presente no solo fica disponível para as plantas, sendo uma parte perdida para a atmosfera, outra fica retida no solo e outra é arrastada do solo através das águas provenientes da chuva ou das regas consecutivas.

Resumindo, os iões nitrito e nitrato não são retidos pelo solo, sendo facilmente arrastados pela água e podendo contaminar aquíferos, o que constitui um risco à utilização de águas com elevados teores de nitritos e nitratos (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). A influência do azoto na poluição está associada a transformações que conduzem à biodisponibilidade para as plantas e microrganismos, à sua mobilidade e consequente arrastamento pelas águas que percolam através dos solos. O azoto na forma de  $\text{NH}_4^+$  é uma das formas mais absorvidas pelas plantas, através das raízes. A absorção do azoto sob esta forma é, em termos energéticos, menos dispendiosa para a planta e não permite a acumulação de nitratos. Contudo, a existência de elevados teores de azoto amoniacal pode conduzir a efeitos fitotóxicos (Santos, 2001).

O fósforo, apesar de ser absorvido pelas plantas em menores quantidades do que o azoto, é também considerado um dos elementos essenciais para as mesmas, principalmente na fase de crescimento radicular, por ser um constituinte estrutural de vários compostos bioquímicos da planta (ácidos nucleicos e fosfolípidos). Ao contrário do azoto, o fósforo é um composto que apresenta reduzida mobilidade no solo e a sua aplicação em excesso, quanto às necessidades das plantas, não causa efeitos aparentes, uma vez que apenas são absorvidas as quantidades necessárias para o seu crescimento (Santos, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Segundo Santos (2001), os principais factores responsáveis pela fixação e retenção de fósforo nos solos estão associados ao teor e natureza dos colóides minerais e orgânicos, assim como à presença de elementos como o cálcio, ferro e alumínio, que apresentam capacidade para formar compostos fosfatados e, na presença de determinados valores de pH, tornam-se insolúveis.

O potássio é um elemento necessário ao mecanismo das plantas, uma vez que exerce um papel fundamental na regulação das perdas de água por transpiração. Em águas residuais, a forma mais comum deste composto e mais facilmente absorvido pelas plantas é o ião  $\text{K}^+$ . Os diferentes tipos de solo influenciam a disponibilidade do potássio. Por exemplo, em solos arenosos e pobres em matéria orgânica, este elemento, ao ser aplicado através da rega com águas residuais tratadas, é facilmente arrastado, não ficando por isso disponível para as plantas (Santos, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Como foi dito anteriormente, existe ainda o grupo dos micronutrientes, que englobam elementos como o ferro, manganês, o zinco, o cobre, o boro, o molibdénio e o cloro, os quais são também essenciais ao desenvolvimento das plantas, embora em quantidades mais reduzidas (Santos, 2001).

Contudo, a mínima transposição do nível considerado como necessário ao bom desenvolvimento da planta pode causar problemas de fitotoxicidade (Santos, 2001).

Os problemas de fitotoxicidade são resultantes da acumulação de certos iões nas folhas, os quais são transportados pela água absorvida pela planta. Elementos como o cloro e o sódio são também potenciais causadores de fitotoxicidade. Os restantes elementos não atingem, por norma, concentrações significativas e preocupantes nos efluentes reutilizados como água de rega (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). Os cloretos presentes na água de irrigação podem causar fitotoxicidade, uma vez que não são absorvidos ou retidos pelos solos, movendo-se facilmente com a água, principalmente no processo de transpiração, acumulando-se desta forma nas folhas da planta (Ayers e Westcot, 1985).

#### **1.1.4.3. Elementos Tóxicos**

Este é um grupo ao qual estão associados os elementos vulgarmente denominados por metais pesados, onde se incluem também elementos já mencionados como micronutrientes. São exemplos o cobre, o zinco, o cádmio, o crómio, o chumbo, o níquel e o mercúrio. Todos estes elementos são considerados como elementos potencialmente tóxicos, uma vez que um pequeno excesso pode causar problemas de fitotoxicidade para as plantas. A acumulação de elevadas concentrações destes elementos nas plantas pode demorar algum tempo, sendo os efeitos apenas visíveis a longo prazo. Os efeitos fitotóxicos são acompanhados frequentemente pelos efeitos da salinidade, assim como pelos problemas de infiltração. Contudo, os problemas de fitotoxicidade dependem de factores como a duração da exposição, concentração do elemento na água de rega, quantidade de água absorvida pela planta e sensibilidade da própria planta aos elementos tóxicos (Ayers e Westcot, 1985; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Segundo Santos (2001), todos os metais pesados são fitotóxicos. No entanto, a fitotoxicidade não se manifesta sempre com a mesma intensidade. Para além de depender do tipo de elemento, depende também do tipo de planta, uma vez que existem plantas que suportam mais facilmente concentrações mais elevadas de alguns metais pesados do que outras. A fitotoxicidade depende ainda da biodisponibilidade dos elementos tóxicos, a qual é função do tipo de solo, ou seja, das combinações químicas do elemento metálico com o solo. Alguns iões presentes no solo ou na água, como por exemplo sódio, cloretos, ou boro, quando acumulados em plantas sensíveis a altas concentrações, são razão suficiente para causarem danos na planta. Um dos aspectos mais importantes que distingue os metais pesados de outros elementos tóxicos é o facto de a sua toxicidade ser geralmente controlada pelas suas propriedades físicas e químicas, como a concentração no solo, conteúdo de matéria orgânica e teor de óxidos de Fe, Al e Mn. Os metais

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

pesados no solo não exercem apenas efeitos negativos no crescimento das plantas, afectam também os processos bioquímicos que nelas ocorrem.

Algumas das características químicas dos solos são importantes para permitir a irrigação, principalmente do ponto de vista de fertilidade: pH, salinidade, capacidade de troca catiónica, nutrientes, matéria orgânica e percentagem de sódio. No entanto, o teor de metais no solo pode influenciar a opção de utilizar águas residuais tratadas na rega. Segundo a NP 4434, solos que apresentem teores de metais pesados superiores ao permitido para os solos sujeitos à aplicação de lamas não são aceitáveis para a irrigação com efluentes tratados. Os valores máximos admissíveis para estes solos estão presentes no Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro e são apresentados no Quadro 1.5.

**Quadro 1.5** – Valores máximos admissíveis para concentrações de metais pesados nos solos a regar com águas residuais tratadas (mg/kg solo seco) (Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro)

| Parâmetro     | pH do solo |           |      |
|---------------|------------|-----------|------|
|               | <5,5       | 5,5 a 7,0 | >7,0 |
| Cádmio (Cd)   | 1          | 3         | 4    |
| Chumbo (Pb)   | 50         | 300       | 450  |
| Cobre (Cu)    | 50         | 100       | 200  |
| Crómio (Cr)   | 50         | 200       | 300  |
| Mercúrio (Hg) | 1          | 1.5       | 2    |
| Níquel (Ni)   | 30         | 75        | 110  |
| Zinco (Zn)    | 150        | 300       | 450  |

Segundo a NP 4434, as quantidades de metais pesados aplicadas anualmente nos solos não devem ultrapassar as quantidades máximas apresentadas no Quadro 1.6, nem devem conduzir a valores de concentrações no solo superiores aos valores limite já referidos no Quadro 1.5.

**Quadro 1.6** – Valores-limite para as quantidades anuais de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos cultivados com base numa média de 10 anos (Decreto-Lei nº 276/2009, de 2 de Outubro)

| Parâmetro | Valor-limite<br>(kg/(ha.ano)) |
|-----------|-------------------------------|
| Cádmio    | 0,15                          |
| Cobre     | 12                            |
| Níquel    | 3                             |
| Chumbo    | 15                            |

**Quadro1.6 – (Cont.)**

| <b>Parâmetro</b> | <b>Valor-limite<br/>(kg/(ha.ano))</b> |
|------------------|---------------------------------------|
| Zinco            | 30                                    |
| Mercúrio         | 0,1                                   |
| Crómio           | 4,5                                   |

#### **1.1.4.4. Medidas para controlar os efeitos tóxicos das águas residuais nas plantas**

Em situações onde se utilizam na rega águas com elevada salinidade e onde a toxicidade é resultante de iões, como sódio e cloro, os efeitos tóxicos nas plantas devem ser minimizados através de técnicas ambientalmente seguras (Beltrão, 2005), tais como o uso de espécies de plantas mais tolerantes à seca (Glenn *et al.*, 1999) e à salinidade (Egan e Ungar, 1998; Glenn e Brown, 1998; Hamdy, 2002). Contudo, estas são medidas que apesar de favoráveis para as plantas, não resolvem o problema de contaminação do solo e das águas subterrâneas, pelo que outra das medidas possíveis é a redução da aplicação de sal através de menores dotações de rega (Nasr e Ben Merhlia, 2002), ou ainda através da aplicação de quantidades de água superiores às necessidades hídricas das plantas, ocorrendo desta forma o processo de lixiviação do solo (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). Existe ainda uma forma bastante prática de se controlar os efeitos tóxicos da água residual nas plantas, através da mistura, quando possível, do efluente tratado com água natural, que geralmente apresenta na sua constituição menos substâncias dissolvidas. Esta é uma medida que, para além de muito prática, possibilita a redução de concentrações dos elementos tóxicos (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010). Contudo, o tipo de rega é um factor a ter em consideração nas medidas para controlar os efeitos tóxicos nas plantas, uma vez que existem tipos de rega em que a água e, consequentemente os elementos tóxicos, entram em contacto directo com as folhas, causando assim maiores problemas de toxicidade.

Em suma, as medidas de controlo passam pela quantidade de água a aplicar na rega, pela mistura de água residual com água natural, pela selecção do tipo de planta e ainda pelo tipo de rega. Por outro lado, deverão ser sempre realizadas, com uma certa periodicidade, análises químico-biológicas à água residual e ao solo onde se realiza a rega, de forma a cumprir os limites impostos pela legislação (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

#### **1.1.5. Riscos associados à reutilização de águas residuais em rega paisagística**

A irrigação paisagística com águas residuais tratadas pode apresentar uma série de riscos, nomeadamente para a saúde pública, através da exposição humana à água de rega ou através do contacto directo com as plantas e a superfície molhada das mesmas (Stagnitti *et al.*, 1998). O

principal risco associado à reutilização de águas residuais em rega reside na possível contaminação das plantas regadas, assim como dos solos. No entanto, os elementos causadores de contaminação estão directamente dependentes do tipo de tratamento a que as águas foram submetidas anteriormente à sua reutilização (Marecos do Monte, 1994). Contudo, os riscos para a saúde pública podem ser diferenciados de acordo com o tipo de espaço regado, uma vez que podem ser espaços com acesso sem restrições ou espaços com acesso limitado. De entre os espaços paisagísticos sem acesso limitado encontram-se os parques públicos, relvados de campos desportivos, espaços verdes em instalações públicas ou comerciais e ainda campos de golfe. Por outro lado, os espaços paisagísticos com acesso limitado englobam, por exemplo, espaços verdes de ornamentação paisagística em instalações industriais (Marecos do Monte e Albuquerque, 2010).

Segundo o Instituto Regulador de Águas e Resíduos (2007), um projecto de utilização de água residual tratada deve ter por base um adequado estudo técnico, económico, ambiental e social, dando atenção à procura potencial para assegurar a sua sustentabilidade económica e financeira. No sentido de mitigar os riscos do projecto, devem ser atempadamente definidas, avaliadas e, quando possível, contratualizadas as responsabilidades pela actividade, bem como as exigências técnicas, ambientais, económicas e de saúde pública.

No Quadro 1.7 são apresentadas as vantagens e desvantagens, assim como os riscos associados à utilização de águas residuais tratadas em rega.

**Quadro 1.7** – Vantagens, desvantagens e riscos associados à aplicação de águas residuais tratadas em rega (WHO, 2006; Mano *et al.*, 2006)

| <b>Vantagens</b>  | <b>Desvantagens</b>   | <b>Riscos</b>   |
|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- Melhoria da eficiência económica relativa aos investimentos na eliminação de águas residuais.</li><li>- Conservação dos recursos hídricos.</li><li>- Aproveitamento dos nutrientes presentes nas águas residuais (ex: azoto e fósforo).</li><li>- Redução na procura do abastecimento com água potável.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- A “produção” de águas residuais é um processo contínuo ao longo do ano, enquanto que a rega é um processo limitado pela fase de crescimento da planta e pela época do ano.</li><li>- Alguns elementos presentes nas águas residuais, em concentrações elevadas, podem ser tóxicos para as plantas ou conduzir a danos ambientais.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Risco de contaminação das águas subterrâneas pelos elementos presentes na água de rega.</li><li>- Risco de contaminação do solo, principalmente pela acumulação de metais pesados.</li><li>- Risco para a saúde pública, através do contacto directo com as plantas e água de rega.</li></ul> |



## **1.2. ETVO – Valorsul**

### **1.2.1. Descrição da ETVO**

A Estação de Tratamento e Valorização Orgânica (ETVO), gerida pela Valorsul, é uma unidade que se destina ao tratamento e reaproveitamento de matéria orgânica presente nos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), que são recolhidos selectivamente em restaurantes, cantinas ou mercados na zona de Lisboa, Loures e Odivelas. A finalidade desta unidade é a de gerar energia eléctrica e produzir um composto que pode ser posteriormente aplicado na agricultura. De forma a atingir este objectivo são utilizados, nesta estação, dois tipos de tratamentos biológicos: digestão anaeróbia e compostagem.

A digestão anaeróbia consiste na decomposição biológica da matéria orgânica contida nos RSU, em condições de ausência de oxigénio, de onde resultam em simultâneo dois produtos: a lama digerida e o biogás (Valorsul, 2011). A lama resultante do processo de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos contém um elevado teor de água, necessitando por isso de desidratação (remoção do excesso de água da lama). Este procedimento é efectuado através de duas centrífugas em paralelo, sendo posteriormente a fase sólida enviada para a compostagem. A fase líquida (centrifugado) é utilizada como água de processo e o excesso da fase líquida é bombado para a Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), existente nas instalações da ETVO. Após o tratamento das águas residuais resultantes do processo, o efluente tratado é descarregado no sistema de drenagem municipal.

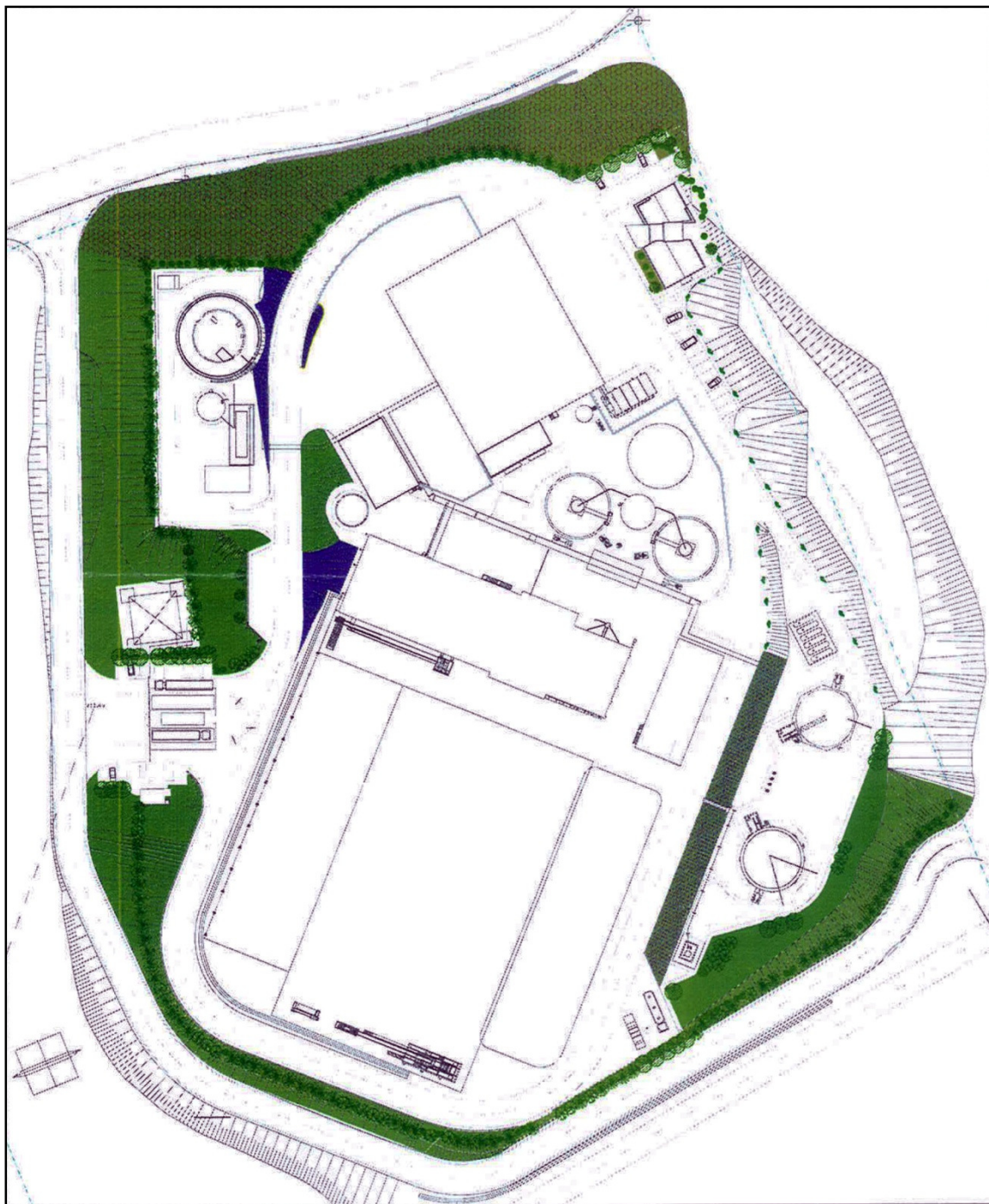
O efluente tratado produzido na ETVO é classificado como água residual industrial. Este é um tipo de água residual caracterizado pela diversidade dos compostos que possui e que estão dependentes do tipo de processamento industrial.

A ETVO possui ainda espaços verdes envolventes à unidade, que funcionam como barreiras visuais e acústicas. Estes espaços têm como finalidade atenuar os aspectos negativos associados à imagem da instalação e à passagem de veículos pesados de transporte de resíduos. Além do valor estético, os espaços verdes melhoram a qualidade do ar e reduzem os níveis de ruído.

Na instalação da ETVO (Figura 1.2), os espaços verdes englobam a presença de árvores, arbustos e diversos tipos de revestimentos, nomeadamente relva. A relva já existente nas instalações da ETVO ocupa uma área de 2497 m<sup>2</sup> e é composta pela mistura de várias espécies de plantas, mais especificamente pelas seguintes: a) *Festuca arundinacea* (70%), sendo esta uma das espécies mais tolerantes à seca, ao calor e, tal como referido no Quadro 1.4, à salinidade; b) *Lolium perenne* (20%), é considerada uma espécie adequada a climas temperados, não se adapta a solos muito molhados e de acordo com o Quadro 1.4 é tolerante à salinidade; c) *Poa pratensis* (10%), espécie

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

adequada a climas frios e moderadamente quentes, e que, de acordo com o Quadro 1.4, é classificada como sensível à salinidade.



**Figura 1.2** – Plano geral de integração paisagística da ETAR da ETVO (Valorsul, 2004).

### 1.2.2. A ETAR da ETVO

A ETAR da ETVO é constituída por um sistema de refrigeração, para arrefecimento do centrifugado (água residual afluenta à ETAR), seguido de um tratamento biológico por nitrificação/desnitrificação e, por último, um sistema de filtração por membranas. O efluente resultante de todo o processo fica em condições de ser reutilizado como água de processo e o excesso é descarregado no colector municipal (Valorsul, 2011).

De acordo com a informação da Valorsul, o efluente existente numa caixa de visita que recebe o efluente tratado da ETAR do ETVO e o efluente das instalações sanitárias da unidade, apresenta as características indicadas no Quadro 1.8.

**Quadro 1.8** – Características do efluente tratado da ETAR da ETVO (Valorsul, 2011)

| <b>Parâmetros</b>                    | <b>Resultados no efluente tratado</b> |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| Alumínio (mg Al/L)                   | 0,60                                  |
| Arsénio (mg As/L)                    | <0,05 (LQ)                            |
| Fósforo (mg P/L)                     | 46                                    |
| Bário (mg Ba/L)                      | 0,25                                  |
| Berílio (mg Be/L)                    | <0,010 (LQ)                           |
| Boro (mg B/L)                        | 0,40                                  |
| Cádmio (mg Cd/L)                     | <0,004 (LQ)                           |
| Chumbo (mg Pb/L)                     | <0,05 (LQ)                            |
| Cloretos (mg Cl/L)                   | 2000                                  |
| Cobalto (mg Co/L)                    | <0,05 (LQ)                            |
| Cobre (mg Cu/L)                      | <0,05 (LQ)                            |
| Crómio (mg Cr/L)                     | <0,05 (LQ)                            |
| Estanho (mg Sn/L)                    | 0,10                                  |
| Ferro (mg Fe/L)                      | 1,6                                   |
| Fluoretos (mg F/L)                   | <4 (LQ)                               |
| Lítio (mg Li/L)                      | <0,030 (LQ)                           |
| Manganês (mg Mn/L)                   | <0,05 (LQ)                            |
| Mobilénio (mg Mo/L)                  | <0,010 (LQ)                           |
| Níquel (mg Ni/L)                     | <0,05 (LQ)                            |
| Nitratos (mg NO <sub>3</sub> /L)     | 560                                   |
| SAR (meq/L)                          | 32                                    |
| Condutividade (dS/m)                 | 10                                    |
| Sódio (mg Na/L)                      | 1500                                  |
| Selénio (mg Se/L)                    | <0,008 (LQ)                           |
| Sólidos Suspensos Totais (mg SST/L)  | 26                                    |
| Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)     | 210                                   |
| Vanádio (mg V/L)                     | <0,05 (LQ)                            |
| Zinco (mg Zn/L)                      | 0,14                                  |
| pH                                   | 8,0                                   |
| Coliformes Fecais (UFC/100ml)        | 85000                                 |
| Ovos de Parasitas Intestinais (nº/L) | 0                                     |

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

De forma a avaliar-se a possibilidade de reaproveitamento do efluente tratado da ETAR da ETVO para rega paisagística, a Valorsul solicitou ao DCTB um estudo sobre a possibilidade de o efluente ser reutilizado, em parte ou na sua totalidade, na rega dos espaços verdes internos à unidade.

### **1.3. Objectivos da presente dissertação**

A presente dissertação teve como objectivo principal o estudo da valorização da água residual tratada proveniente da ETAR da ETVO-Valorsul na rega paisagística dos espaços verdes da ETVO, com base em ensaios laboratoriais. A determinação da possibilidade de reutilização do efluente como recurso hídrico alternativo passou pela definição da percentagem de água residual a aplicar na rega, de forma a não prejudicar a germinação e o crescimento da relva existente nos espaços verdes das instalações da ETVO.

Para o presente estudo recorreu-se a um tipo de mistura de relva disponível comercialmente para jardins, composta por *Festuca arundinacea* (40%), *Lolium perenne* (30%), *Festuca rubra rubra* (20%) e *Poa pratensis* (10%). Recorreu-se ainda a uma espécie monocotiledónea (*Sorghum saccharatum*, vulgarmente conhecida por Sorgo) e a duas dicotiledóneas (*Sinapis alba* e *Lepidium sativum*, vulgarmente conhecidas por mostarda e agrião de jardim, respectivamente). Estas são três espécies comuns em testes de fitotoxicidade, por apresentarem como características principais a germinação e o crescimento rápidos.

## **2. Material e Métodos**

### **2.1. Amostras analisadas e metodologia de colheita**

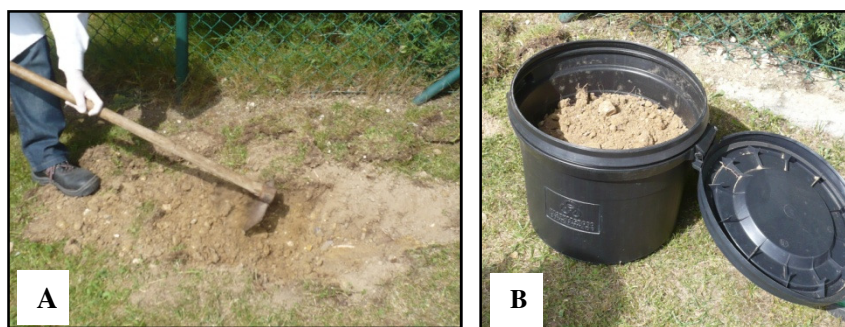
#### **2.1.1. Amostras do efluente da ETAR da ETVO**

Para a concretização dos objectivos propostos foram realizadas duas colheitas de efluente tratado da ETAR da ETVO, a primeira em Março de 2011 e a segunda em Maio do mesmo ano. A primeira recolha foi efectuada a uma quinta-feira, fase em que a instalação se encontra em pleno funcionamento, e a segunda recolha foi efectuada numa segunda-feira de manhã, período em que a instalação inicia a laboração após a interrupção do fim-de-semana. Este facto pode ter influência na qualidade do efluente tratado que é produzido na ETAR.

As colheitas das amostras do efluente foram realizadas com o auxílio de frascos de vidro Schott, com 2 L de capacidade. Tanto na primeira como na segunda colheita foram recolhidos 8L de amostra do efluente tratado da ETAR da ETVO. O transporte das amostras para o laboratório do DCTB-FCT-UNL foi efectuada no próprio dia da recolha. As amostras foram acondicionadas em malas térmicas, a 4°C, com recurso a termoacumuladores. No laboratório, as amostras foram mantidas numa câmara termoestatizada a uma temperatura de 4°C.

#### **2.1.2. Amostras do solo da ETVO**

A colheita de solo dos espaços verdes existentes nas instalações da ETVO foi realizada aquando da segunda colheita do efluente (Maio de 2011). Numa das áreas relvadas foi primeiramente efectuada a remoção da cobertura vegetal, seguida de uma pequena escavação de forma a retirar a amostra de solo (Figura 2.1 A), tendo sido posteriormente armazenada num reservatório (Figura 2.1 B).



**Figura 2.1** – Recolha da amostra de solo na ETVO.

### **2.2. Caracterização química do efluente da ETAR da ETVO**

As amostras do efluente tratado foram caracterizadas relativamente aos parâmetros descritos seguidamente.

### **2.2.1. pH**

A determinação do pH do efluente foi realizada de acordo com a norma APHA, *et al.* (2005), pela metodologia potenciométrica, método 4500-H<sup>+</sup> B, através de uma sonda de pH, da marca Pocket pH-Meter,

### **2.2.2. Condutividade**

A condutividade do efluente tratado foi determinada de acordo com a norma ISO 7888 (1985), por medição directa através de um eléctrodo de condutividade, da marca CD 601 WP, com uma gama de medição de 0-1999 µS/cm.

### **2.2.3. CQO**

Para a determinação da Carência Química de Oxigénio (CQO), na fracção total, recorreu-se ao método volumétrico de oxidação pelo dicromato de potássio, apresentado pela norma APHA, *et al.* (2005), método 5220B. Este é um método baseado na digestão da amostra com refluxo, na presença de sulfato de mercúrio, na qual foi adicionada uma quantidade conhecida de dicromato de potássio (0,25N), em meio fortemente acidificado com ácido sulfúrico (96%), a 160°C, durante 110 min.

Durante o processo de digestão da amostra, o dicromato de potássio é reduzido pela matéria orgânica existente na amostra. Posteriormente, o excesso de dicromato de potássio é titulado com uma solução de sulfato ferroso amoniacal de título conhecido (0,25 N), na presença do indicador ferroína. O cálculo da CQO é realizado a partir da quantidade de dicromato de potássio que foi reduzido.

O título foi calculado através da equação 2.1:

$$\text{Titulo (N)} = \frac{N \times V}{V_{\text{Tit}}} \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Sendo,

N – Normalidade de dicromato de potássio (0,25N)

V – Volume de dicromato de potássio utilizado (ml)

V<sub>Tit</sub> – Volume da solução de sulfato ferroso amoniacal consumido na titulação (ml)

O parâmetro CQO foi calculado através da equação 2.2:

$$\text{CQO (mgO}_2\text{/L)} = \frac{(A - B) \times T \times 8000}{C} \quad (\text{Eq. 2.2})$$

Onde,

A – Volume de titulante consumido no branco (ml);

B – Volume de titulante consumido da amostra (ml);

C – Volume de amostra (ml);

T – Título, expresso em normalidade, da solução de sulfato ferroso amoniacal;

Factor 8000 – Massa molar de  $\frac{1}{2}$  de  $O_2$  (mg/l) afectada pelo factor de correcção para se exprimir a CQO em mg  $O_2$ /L.

#### **2.2.4. Sólidos Suspensos Totais**

A determinação dos Sólidos Suspensos Totais (SST) existentes na amostra foi efectuada de acordo com a norma APHA, *et al.* (2005), pelo método gravimétrico, mais especificamente pelo método 2540 D, utilizando uma membrana filtrante (“Whatman”) com porosidade de 0,45  $\mu m$ . Este é um método que se baseia na filtração da amostra através do filtro, previamente seco em estufa, até peso constante, a  $103 \pm 2^\circ C$ . Após a filtração da amostra, o resíduo que fica retido no filtro é seco em estufa, a  $103 \pm 2^\circ C$ , até peso constante. O aumento do peso verificado no filtro representa os sólidos suspensos totais presentes na amostra.

O cálculo dos SST foi possível através da equação 2.3:

$$SST \text{ (mg/L)} = \frac{(P_2 - P_1) \times 10^6}{V_a} \quad (\text{Eq. 2.3})$$

Sendo,

$P_1$  – Peso do filtro de microfibras de vidro (g)

$P_2$  – Peso filtro + peso sólidos suspensos (g)

$V_a$  – Volume de amostra (ml)

#### **2.2.5. Nitritos e Nitratos**

A quantificação de nitritos e nitratos foi possível recorrendo ao método refractométrico, através do equipamento Rqflex Plus 10, da Merck.

#### **2.2.6. Fósforo Total**

A determinação de Fósforo total ( $P_T$ ) foi realizada de acordo com a norma APHA, *et al.* (2005), através da digestão prévia das amostras. A digestão consistiu na ebulição de 10 ml de amostra de efluente da ETAR da ETVO, a  $360 \pm 2^\circ C$ , em 30 ml de ácido sulfúrico concentrado (96%). Após a

digestão e arrefecimento das amostras, procedeu-se ao tratamento das mesmas com ácido ascórbico e mobilato de amónio, de forma originar complexos fosfomolibdicos de coloração azulada.

A quantificação do fósforo foi realizada pelo método espectrofotométrico. Previamente à leitura das absorvâncias das amostras, procedeu-se à construção de uma recta de calibração entre a concentração de padrões de fósforo, com concentração conhecida, e a absorvância medida a um comprimento de onda de 880 nm, num espectrofotómetro de marca *CECIL 9000 series*. Após a determinação da recta de calibração, iniciou-se a leitura das absorvâncias das amostras e posteriormente procedeu-se ao cálculo da concentração de fósforo nas amostras através da equação 2.4:

$$\text{Concentração de Fósforo (mgP/L)} = M \times \frac{V_b}{V_a \times V_d} \quad (\text{Eq. 2.4})$$

Em que,

M – Massa do fósforo ( $\mu\text{g}$ ) determinado através da recta de calibração;

$V_b$  – Volume do balão volumétrico contendo o digerido (ml);

$V_a$  – Volume de amostra submetida a digestão (ml);

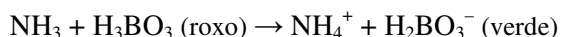
$V_d$  – Volume de amostra digerida que é utilizada na quantificação do fósforo (ml).

### **2.2.7. Azoto Kjeldahl**

Para a determinação do parâmetro Azoto Kjeldahl foi seguida a norma ISO 5663 (1984), utilizado o método de digestão a  $360 \pm 2^\circ\text{C}$ , com 30 ml de ácido sulfúrico concentrado (96%) e 10 ml de amostra de efluente da ETAR da ETVO. A quantificação foi efectuada por destilação com vapor, onde ocorreu a retenção numa solução de ácido bórico e titulação com ácido sulfúrico a 0,02N. A etapa da digestão é responsável pela redução do azoto orgânico a amónio, o qual é retido em solução na forma de sulfato de amónio:



Após a digestão, juntaram-se algumas gotas de NaOH (6N) às amostras digeridas, de modo a obter-se um  $\text{pH} > 8$ . Posteriormente, procedeu-se à destilação com vapor, para que o  $\text{NH}_3$  fosse arrastado e fixado numa solução indicadora de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ):



De forma a conhecer a quantidade de azoto na amostra, procedeu-se à titulação com ácido sulfúrico a 0,02N, da solução contendo borato ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ), até ser obtida novamente a cor roxa. Sendo esta uma equação estequiométrica de 1:1, foi possível a quantificação de  $\text{NH}_4^+$  na amostra. O azoto kjeldahl foi calculado através da equação 2.5:



$$\text{Azoto Kjeldahl (mgN/L)} = \frac{(V_1 - V_2)}{V_{a.d}} \times t \times 14,01 \times 1000 \times \frac{V_b}{V_{a.i}} \quad (\text{Eq. 2.5})$$

Sendo que,

$V_1$  – Volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra (ml);

$V_2$  – Volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação do branco (ml);

$V_{a.d}$  – Volume de amostra digerida utilizada na destilação (ml);

$V_b$  – Volume do balão contendo o digerido (ml);

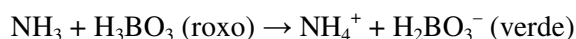
$V_{a.i}$  – Volume de amostra submetida a digestão (ml);

$t$  – Titulo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  usado na titulação (0,02N);

14,01 – Massa atômica do N.

### **2.2.8. Azoto Amoniacal**

A determinação do azoto amoniacal seguiu a norma ISO 5664 (1984) e foi efectuada de forma idêntica à determinação do azoto Kjeldhal, omitindo-se apenas a parte da digestão das amostras e mantendo-se todo o restante procedimento. Ou seja, a sua quantificação foi efectuada por destilação com vapor, onde ocorre a retenção numa solução de ácido bórico e titulação com ácido sulfúrico a 0,02N. Juntaram-se algumas gotas de NaOH (6N) às amostras de efluente, de modo a obter-se um  $\text{pH} > 8$  (obtenção de cor rosa na presença do indicador fenolftaleína). Posteriormente, procedeu-se à destilação com vapor para que o  $\text{NH}_3$  fosse arrastado e fixado numa solução indicadora de ácido bórico ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ):



De forma a conhecer-se a quantidade de azoto na amostra procedeu-se à titulação da solução contendo borato ( $\text{H}_2\text{BO}_3^-$ ), com ácido sulfúrico a 0,02N, até ser obtida novamente a cor roxa. Sendo esta uma equação estequiométrica de 1:1, foi possível a quantificação de  $\text{NH}_4^+$  na amostra. O azoto amoniacal foi assim calculado através da equação 2.6:

$$\text{Azoto Amoniacal (mgN/L)} = \frac{V_1}{V_a} \times t \times 14,01 \times 1000 \quad (\text{Eq. 2.6})$$

Sendo,

$t$  – Titulo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  usado na titulação (0,02N);

$V_1$  – Volume da solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gasto na titulação da amostra (ml);

$V_a$  – Volume de amostra (ml).

14,01 – Massa atômica do N.

### **2.2.9. Cloretos**

Para a determinação dos cloretos na amostra do efluente foi utilizado o método volumétrico, mais especificamente o método de Mohr. Este é um método onde os cloretos presentes na amostra são titulados com solução de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), na presença de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) como indicador. O ponto final da titulação é identificado quando todos os iões  $\text{Ag}^+$  presentes na amostra são precipitados sob forma de  $\text{AgCl}$ , ocorrendo de seguida a precipitação de cromato de prata ( $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$ ), que apresenta cor de pêssego.

Os cloretos foram calculados de acordo com a equação 2.7:

$$\text{Cloretos (mgN/L)} = \frac{V_2 - V_1}{V_a} \times t \times 35,45 \times 1000 \quad (\text{Eq. 2.7})$$

Sendo,

$V_1$  – Volume de  $\text{AgNO}_3$  gasto na titulação do branco (ml);

$V_2$  – Volume de  $\text{AgNO}_3$  gasto na titulação da amostra (ml);

$V_a$  – Volume de amostra utilizado na titulação (ml)

$t$  – Título da solução de  $\text{AgNO}_3$  usado na titulação (0,0141N);

35,45 – Massa atómica do ião  $\text{Cl}^-$ .

### **2.2.10. Sulfatos**

Os sulfatos foram determinados de acordo com a norma APHA, *et al.* (2005), através do método turbidimétrico, utilizando o cloreto de bário, a um comprimento de onda de 420 nm, por recurso a um espectrofotómetro da marca “Palintest”.

### **2.2.11. Metais Pesados**

Os metais pesados foram quantificados por Espectrometria de Absorção Atómica (EAA) após digestão das amostras.

Os 45 ml de amostra do efluente da ETAR da ETVO foram acidificados com 4 ml de ácido nítrico (65%) e 1 ml de ácido clorídrico (37%) e posteriormente digeridos num reactor por microondas de marca “Milestone”, modelo “Ethos 1600”, em condições de temperatura controlada e em vasos de digestão fechados. O processo de digestão decorreu em duas etapas: a primeira, com a duração de 10 min, a 160°C, e a segunda etapa, igualmente com a duração de 10 min, mas a uma temperatura de 170°C; ambas as etapas foram realizadas com uma potência de 450W.

As amostras foram filtradas através de filtros de fibra de vidro, da marca Whatman 934 - AH, com uma porosidade de 1,5  $\mu\text{m}$ .

A quantificação dos metais foi efectuada de acordo com a metodologia, normas e materiais indicados no Quadro 2.1.

**Quadro 2.1** – Normas, metodologias, princípios dos métodos e equipamentos utilizados na quantificação de metais.

| Parâmetro   | Norma                      | Metodologia   | Princípio do método e equipamento utilizado   |
|---|----------------------------|---|---|
| <b>Al</b>   | APHA, <i>et al.</i> (2005) | EAA com chama, Método 3111 D                                | Quantificação do metal por injeção directa da solução num EAA, da marca “Thermo-Unicam”, modelo <i>M series</i> , utilizando uma chama alimentada pela mistura de protóxido de azoto e acetileno.   |
| <b>Cd, Cr (total), Cu, Fe, K, Mg, Na, Ni, Pb e Zn</b> | APHA, <i>et al.</i> (2005) | EAA com chama, Método 3111 B                                | Quantificação dos metais por injeção directa da solução num EAA, da marca “Thermo-Unicam”, modelo <i>M series</i> , utilizando uma chama alimentada pela mistura de ar e de acetileno.  |
| <b>Ca</b>   | ISO 7980 (1986)            | EAA com chama   | Quantificação do cálcio por injeção directa da solução num EAA, da marca “Thermo-Unicam”, modelo <i>M series</i> , utilizando uma chama alimentada pela mistura de ar, protóxido de azoto e acetileno.  |
| <b>As</b>   | APHA, <i>et al.</i> (2005) | Formação de hidretos e quantificação por EAA, Método 3114 B | Quantificação do metal, utilizando um EAA de marca “Thermo-Unicam”, modelo <i>M series</i> , equipado com uma câmara de geração de hidretos e um atomizador de cabeça cilíndrica, modelo VP 90. O arsénio é convertido nos seus hidretos, pelo borohidreto de sódio, os quais são, posteriormente, aspirados para o atomizador da absorção atómica.   |
| <b>Hg</b>   | APHA, <i>et al.</i> (2005) | EAA sem chama, Método 3112 B                                | O mercúrio presente na solução é convertido a Hg (II) através de digestão com permanganato de potássio e peroxidissulfato de potássio, a 95°C. São efectuadas, posteriormente, as reduções do oxidante, em excesso, com cloreto de hidroxilamónio e do Hg (II), a mercúrio metálico, com cloreto de estanho (II). Por fim, o mercúrio é purgado por uma corrente de gás, à temperatura ambiente, sendo a sua quantificação efectuada por EAA sem chama. Na quantificação deste metal, foi utilizado um EEA da marca “Thermo-Unicam”, modelo <i>M series</i> , equipado com uma câmara de geração de hidretos, modelo VP 90. |

### 2.3. Caracterização química do solo da ETVO

O solo recolhido nas instalações da ETVO foi analisado e caracterizado relativamente aos parâmetros seguidamente indicados. Contudo, previamente à sua caracterização química, o solo passou por um processo de crivagem, através de um crivo com uma malha de 2 mm.

#### 2.3.1. Humidade

O teor de humidade do solo foi determinado por secagem do solo, tendo-se procedido primeiramente à secagem do cadinho a 103±2°C em estufa, durante uma hora, e de seguida à

pesagem de determinada quantidade de solo, levando-se novamente à estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , igualmente durante uma hora. Após a secagem e pesagem, foi possível determinar o teor de humidade através da diferença entre a massa húmida e a massa seca do solo.

O cálculo da humidade foi efectuado de acordo com as equações 2.8 e 2.9:

$$\% \text{ Humidade Base Seca} = \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} \times 100 \quad (\text{Eq. 2.8})$$

$$\% \text{ Humidade Base Húmida} = \frac{P_2 - P_3}{P_4} \times 100 \quad (\text{Eq. 2.9})$$

Sendo,

$P_1$  – Peso do cadinho (g);

$P_2$  – Peso do Cadinho + amostra húmida (g);

$P_3$  – Peso do Cadinho + amostra seca (g);

$P_4$  – Peso amostra húmida (g)

### **2.3.2. pH**

A determinação do pH do solo foi efectuada de forma idêntica à determinação do pH do efluente descrita anteriormente em 2.1.1, através de uma sonda de pH da marca Pocket pH-Meter. No entanto, para que fosse possível a leitura através da sonda, foi necessário preparar uma solução de solo com água destilada (1:1). Após meia hora de agitação, foi realizada a leitura do pH da suspensão água+solo.

### **2.3.3. Condutividade**

A condutividade do solo foi determinada através de um eléctrodo de condutividade da marca CD 601 WP com uma gama 0-1999  $\mu\text{S/cm}$ , aproveitando a mesma solução utilizada para a determinação do pH, sendo posteriormente efectuada a leitura com o condutímetro.

### **2.3.4. Carbono Orgânico e Matéria Orgânica**

Para a quantificação do carbono orgânico e da matéria orgânica presente no solo, recorreu-se ao método volumétrico de oxidação pelo dicromato de potássio. Este é um método baseado na digestão da amostra com refluxo, na presença de sulfato de mercúrio, na qual foi adicionada uma quantidade conhecida de dicromato de potássio (0,25N), em meio fortemente acidificado por ácido sulfúrico (96%), a  $160^{\circ}\text{C}$ , durante 110 min. Durante o processo de digestão da amostra, o dicromato de potássio foi reduzido pela matéria orgânica existente na amostra. Posteriormente, o excesso de

dicromato de potássio foi titulado com uma solução de sulfato ferroso amoniacal de título conhecido (0,25 N), na presença do indicador ferroína.

A percentagem de carbono orgânico existente no solo, foi determinada recorrendo à equação 2.10:

$$C (\% \text{ m/m}) = \frac{(B - A) \times N \times 12}{M \times 4000} \times 100 \quad (\text{Eq. 2.10})$$

Onde,

A – Volume de titulante consumido na amostra (ml);

B – Volume de titulante consumido no branco (ml);

N - Normalidade da solução de sulfato ferroso amoniacal (0,25N);

M – Massa seca de solo (g)

12/4000 – Miliequivalentes do peso de carbono-gramas

A quantificação de matéria orgânica presente no solo foi determinada através da equação 2.11:

$$\text{M.O. } (\% \text{ m/m}) = \frac{\% C}{0,58} \quad (\text{Eq. 2.11})$$

### **2.3.5. Fósforo Total**

A determinação do Fósforo total ( $P_T$ ) para as amostras de solo foi realizada em condições iguais às amostras de efluente. Na digestão de solo da ETVO foram utilizados 0,5 g de solo e 30 ml de ácido sulfúrico concentrado (96%). Para preparação da digestão das amostras de solo após as regas diárias, foram utilizados 1 g de solo e 30 ml ácido sulfúrico concentrado (96%). O cálculo da concentração de fósforo nas amostras de solo foi realizado recorrendo à equação 2.12:

$$\text{Concentração de Fósforo } (\mu\text{g P/g}) = M_d \times \frac{V_b}{V_a \times M_a} \quad (\text{Eq. 2.12})$$

Em que,

$M_d$  – Massa de fósforo na amostra digerida ( $\mu\text{g}$ );

$V_a$  – Volume de amostra digerida (ml);

$V_b$  – Volume do balão volumétrico contendo o digerido (ml);

$M_a$  – Massa seca de solo digerido (g);

### **2.3.6. Azoto Kjeldahl**

A determinação do Azoto Kjeldahl no solo foi feita do mesmo modo que no efluente, e utilizando o mesmo método de destilação. No entanto, na digestão de solo da ETVO foram utilizados 0,5 g de solo e 30 ml de ácido sulfúrico concentrado (96%), enquanto, preparação da digestão das amostras

de solo após as regas diárias, foram utilizados 1 g de solo e 30 ml ácido sulfúrico concentrado (96%).

A quantificação do presente parâmetro foi possível através da equação 2.13:

$$\text{Azoto Kjeldahl (mgN/kg)} = \frac{(V_1 - V_2)}{V_{a,d}} \times t \times 14,01 \times 1000 \times \frac{V_b}{M_a} \quad (\text{Eq. 2.13})$$

Sendo que,

$V_1$  – Volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra (ml);

$V_2$  – Volume da solução de ácido sulfúrico gasto na titulação do branco (ml);

$V_{a,d}$  – Volume de amostra digerida utilizado na destilação (ml);

$V_b$  – Volume do balão contendo o digerido (ml);

$M_a$  – Massa seca de solo submetido a digestão (g);

$t$  – Titulo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  usado na titulação (0,02N);

14,01 – Massa atômica de N.

### **2.3.7. Azoto Amoniacal**

A determinação do azoto amoniacal na amostra de solo foi efectuada através do mesmo método utilizado para a determinação deste parâmetro no efluente. O azoto amoniacal foi calculado através da equação 2.14:

$$\text{Azoto Amoniacal (mgN/kg)} = \frac{V_1}{M_a} \times t \times 14,01 \times 1000 \quad (\text{Eq. 2.14})$$

Sendo,

$t$  – Titulo de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  usado na titulação (0,02N);

$V_1$  – Volume da solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  gasto na titulação da amostra (ml);

$M_a$  – Massa seca de solo submetido a digestão (g).

14,01 – Massa atômica do N;

### **2.3.8. Cloretos**

Para a determinação deste parâmetro no solo foi preparada inicialmente uma solução (1:1), com solo e água destilada, seguida de agitação e repouso durante meia hora para decantação das partículas em suspensão. Após este período, procedeu-se à filtração, por membranas filtrantes da marca “Whatman” com uma porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$ , da fase líquida da solução. Os cloretos presentes na fase líquida foram posteriormente determinados pelo método volumétrico, por titulação com solução de nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ), na presença de cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) como indicador.

Os cloretos foram calculados de acordo com a equação 2.15:

$$\text{Cloretos (mgN/g)} = \frac{V_1}{V_s} \times t \times 35,45 \times 1000 \times \frac{1}{1000} \times \left( \frac{V_a}{M_{a.s}} \right) \quad (\text{Eq. 2.15})$$

Sendo,

$V_1$  – Volume de  $\text{AgNO}_3$  gasto na titulação da amostra (ml);

$V_s$  – Volume da solução solo+água, utilizado na titulação (ml);

$V_a$  – Volume de água utilizado na solução solo+água (ml);

$M_{a.s}$  – Massa seca de solo utilizado na solução solo+água (g);

$t$  – Título da solução de  $\text{AgNO}_3$  usado na titulação (0,0141N);

35,45 – Massa atômica do ião  $\text{Cl}^-$ .

### 2.3.9. Metais Pesados

Os metais pesados foram quantificados através do método de Espectrometria de Absorção Atômica (EAA), tal como foi efectuado para o efluente.

Procedeu-se à acidificação de 0,5 g de amostra de solo com 9 ml de ácido nítrico (65%) e 3 ml de ácido clorídrico (37%) e posteriormente à digestão das mesmas num reactor por microondas de marca “Milestone”, modelo “Ethos 1600”, em condições de temperatura controlada e em vasos de digestão fechados. De acordo com a norma US EPA 3015 (2007), o processo de digestão para o solo foi efectuado em duas etapas: a primeira, com a duração de 5 min 30 s, a 175°C, e a segunda etapa, com a duração de 4 min 30 s, também a uma temperatura de 175°C. Ambas as etapas foram realizadas com uma potência de 450W.

Após a digestão, as amostras digeridas foram filtradas com filtros de fibra de vidro, da marcada Whatman 934 - AH, com uma porosidade de 1,5  $\mu\text{m}$ .

A quantificação dos metais foi efectuada de acordo com a metodologia, normas e materiais indicados no Quadro 2.1, apresentado no ponto 2.2.11.

### 2.4. Descrição dos ensaios de germinação

Para a realização dos ensaios de germinação recorreu-se a um tipo de mistura de espécies vegetais utilizadas numa relva que se encontra disponível comercialmente, a qual era composta por *Festuca arundinacea* (40%), *Lolium perenne* (30%), *Festuca rubra rubra* (20%) e *Poa pratensis* (10%). Recorreu-se ainda a uma espécie monocotiledónea (*Sorghum saccharatum*, vulgarmente conhecido por Sorgo) e a duas dicotiledóneas (*Sinapis alba* e *Lepidium sativum*, vulgarmente conhecidas por mostarda e agrião de jardim, respectivamente). As sementes das espécies, monocotiledónea e dicotiledóneas foram fornecidas pela empresa Microbiotests Inc.

#### **2.4.1. Ensaios de capacidade germinativa das sementes**

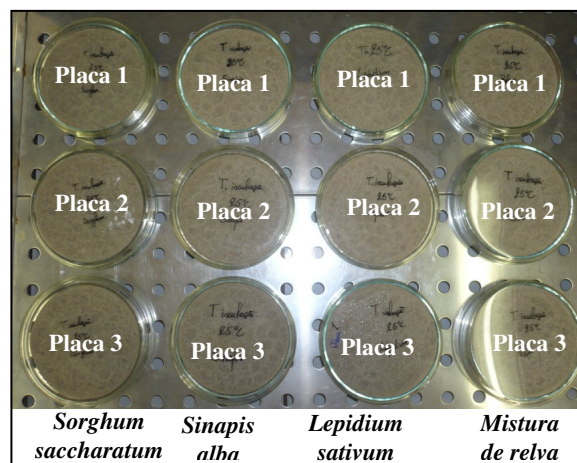
De forma a avaliar-se a capacidade germinativa das sementes de cada uma das plantas utilizadas na presente dissertação (*Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum*, *Sinapis alba* e mistura de relva), foi realizado um ensaio de germinação em placa (Figura 2.2) e em vaso (Figura 2.3), com areia do mar lavada, com grão fino do tipo QP.

##### **2.4.1.1. Ensaio em placa**

O ensaio em placa foi realizado em triplicado (Figura 2.2) e teve uma duração de 15 dias. Nos primeiros 7 dias, as placas foram incubadas no escuro, a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após a germinação das plantas, as placas foram colocadas sob luz artificial (7 lâmpadas da marca Sylvana, do tipo Standard F18W/54-765-T8 “Daylight”), com um ciclo de 11 horas de luz e 13 horas de escuro, até ao termo do ensaio, a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Durante todo o período de ensaio foram efectuadas regas diárias em cada uma das placas, com água desionizada, até à saturação da areia. No último dia do ensaio foi efectuada a contagem de sementes germinadas em cada placa.

Para testar a capacidade germinativa do *Sorghum saccharatum*, foram aplicadas 5 sementes desta espécie em cada um dos seus replicados. Relativamente às restantes espécies (*Lepidium sativum*, *Sinapis alba* e mistura de relva), o procedimento foi semelhante, ou seja, três placas para cada uma das espécies. Contudo, foram aplicados diferentes quantidades de sementes: 8 sementes de *Sinapis alba* em cada uma das três placas, 10 sementes de *Lepidium sativum* e 8 sementes da mistura de relva. As placas utilizadas no ensaio apresentavam uma dimensão de 9,7 cm de diâmetro, 1,6 cm de altura e uma área superficial de  $74\text{ cm}^2$ .

A Figura 2.2 apresenta o ensaio de capacidade germinativa, realizado em triplicado e para cada uma das sementes utilizadas (*Sorghum saccharatum*, *Lepidium sativum*, *Sinapis alba* e mistura de relva).



**Figura 2.2** – Ensaio em placa de capacidade germinativa de cada uma das plantas utilizadas na presente dissertação.



#### **2.4.1.2. Ensaio em vaso**

O ensaio em vaso foi realizado igualmente em triplicado (Figura 2.3) e teve uma duração de 10 dias. Nos primeiros dias, os vasos foram mantidos em incubação no escuro, a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após a germinação das sementes, os vasos foram colocados sob luz artificial (7 lâmpadas da marca Sylvana, do tipo Standard F18W/54-765-T8 “Daylight”), com um ciclo de 11 horas de luz e 13 horas de escuro, até ao termo do ensaio, a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Durante todo o período de ensaio foram efectuadas regas diárias, com água desionizada, em cada um dos vasos, até à saturação da areia. No último dia foi efectuada a contagem de sementes germinadas.

Para cada tipo de semente foram utilizados três vasos de plástico. Os vasos apresentavam um diâmetro superficial de 9,5 cm, 8 cm de altura e uma área superficial de  $71\text{ cm}^2$ . Dos 8 cm de altura do vaso, apenas 5 cm foram ocupados por areia. Em cada um dos vasos com *Sorghum saccharatum* foram plantadas 5 sementes. Os vasos com *Sinapis alba* continham 6 sementes cada um. No ensaio com *Lepidium sativum* foram plantadas 8 sementes por vaso. No ensaio com relva foram utilizadas dez sementes em cada um dos vasos.

A Figura 2.3 apresenta um exemplar do ensaio de capacidade germinativa, realizado em vaso.



**Figura 2.3** – Exemplar do ensaio em vaso de capacidade germinativa.

#### **2.4.2. Ensaio de germinação em areia e em solo padrão nos quais se utilizou o efluente da ETAR da ETVO**

##### **2.4.2.1. Ensaio em placa**

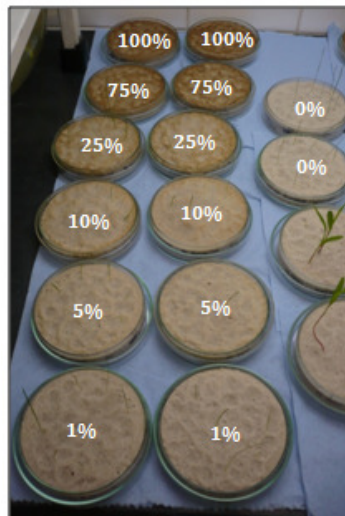
Este ensaio foi realizado em duplicado, tendo sido utilizadas as quatro sementes em estudo: *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba*, *Lepidium sativum*, assim como à mistura de relva.

Durante os 15 dias de ensaio, cada tipo de planta foi regada diariamente com diferentes concentrações do efluente tratado da ETAR da ETVO. As percentagens de efluente utilizadas foram as seguintes: 0%, 1%, 5%, 10%, 25%, 75%, 100% (v/v). Todas as diluições do efluente, à

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

excepção do 100% (v/v), foram preparadas com água desionizada produzida num equipamento Elix 5 da Millipore.

As placas foram mantidas no escuro, à temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , até à germinação das sementes. Após a germinação, as placas foram colocadas sob luz artificial (7 lâmpadas da marca Sylvana, do tipo Standard F18W/54-765-T8 “Daylight”), com um ciclo de 11 horas de luz e 13 horas de escuro, até ao termo do ensaio, a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Por último, procedeu-se à contagem do número de sementes germinadas. A Figura 2.4 ilustra este ensaio.



**Figura 2.4** – Ensaio de germinação em placa com areia previamente lavada.

Durante os 15 dias do ensaio, à medida que foram efectuadas as regas diárias, o volume de efluente aplicado sobre o solo foi sendo cada vez maior. O volume total de efluente aplicado em cada uma das diluições encontra-se referido no Quadro 2.2. Os volumes do efluente aplicado em cada uma das plantas foi diferente, uma vez que estes dependiam do tipo de planta e, consequentemente, do seu consumo de água.

**Quadro 2.2** – Volumes totais de efluente aplicado em quinze dias no ensaio de germinação em placa, em substrato de areia, no qual se utilizou o efluente da ETAR da ETVO na rega das sementes.

| Planta                     | Volume total de efluente aplicado em 15 dias (ml) |       |      |      |      |      |      |
|----------------------------|---|-------|------|------|------|------|------|
|                            | 0%  | 1%    | 5%   | 10%  | 25%  | 75%  | 100% |
| <i>Sorghum saccharatum</i> | 0,000   | 0,980 | 4,65 | 9,80 | 23,5 | 73,5 | 101  |
| <i>Sinapis alba</i>        | 0,000   | 1,97  | 9,63 | 19,1 | 47,4 | 134  | 172  |
| <i>Lepidium sativum</i>    | 0,000   | 1,81  | 8,61 | 17,1 | 43,3 | 130  | 177  |
| Mistura de relva           | 0,000   | 1,01  | 4,85 | 10,0 | 24,0 | 74,3 | 105  |

#### **2.4.3. Ensaio de germinação em “Phytotoxkit” com utilização de solo padrão**

Os “Phytotoxkits” são testes comercializados pela empresa Microbiotests Inc. que permitem avaliar os efeitos das diferentes concentrações de um efluente na germinação de cada espécie ensaiada. Estes testes permitem avaliar parâmetros relacionados com a taxa de germinação, o comprimento das raízes das plantas germinadas e o comprimento dos cotilédones.

Os “kits” são compostos pelo seguinte material: caixas transparentes onde se realiza o ensaio, solo padrão, papel de filtro que é colocado por cima do solo e sobre o qual são colocadas as sementes de cada planta em estudo. Os “kits” fazem-se ainda acompanhar por três tipos de sementes: *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba*, *Lepidium sativum* (Figura 2.5). Estas espécies vegetais são frequentemente utilizadas em testes de fitotoxicidade, porque apresentam características de crescimento rápido e podem ser verificadas alterações na germinação após três dias de ensaio.



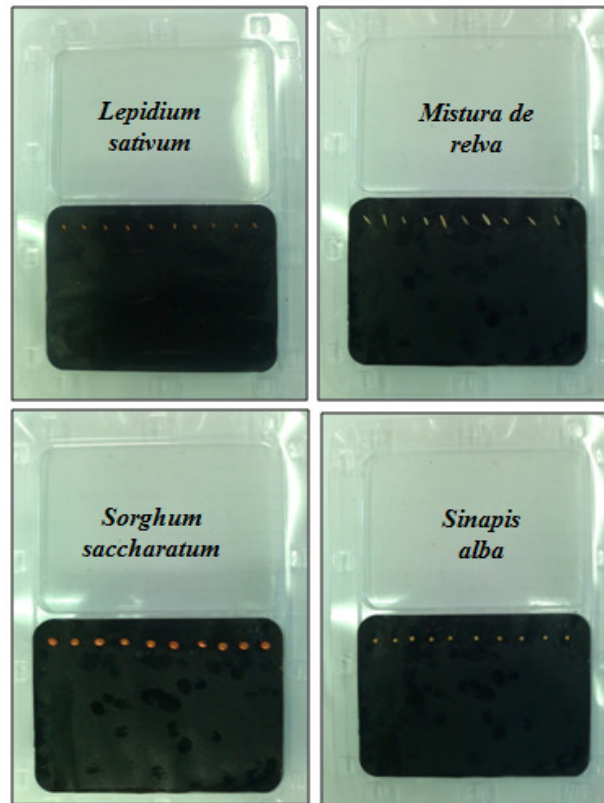
**Figura 2.5-** Material presente no “Phytotoxkit” (Microbiotests, 2011).

Nos ensaios com o “Phytotoxkit” utilizaram-se as espécies *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba* e *Lepidium sativum* e também a mistura das sementes de relva.

A montagem do ensaio iniciou-se com a colocação do solo padrão numa das metades de cada caixa e de seguida foi feita a única dotação de rega durante todo o ensaio, com um volume de 35 ml. Este volume de efluente foi igualmente aplicado em todas as caixas.

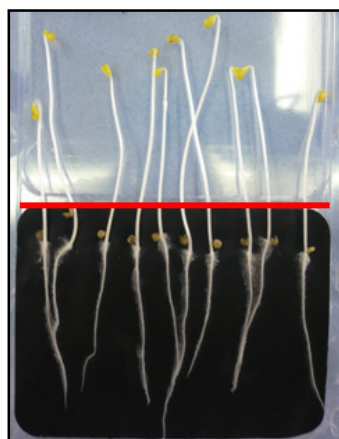
As concentrações de efluente utilizadas neste ensaio foram de 0%, 6,25%, 12,5%, 25% e 50% (v/v). Após a dotação de rega, foi colocado o papel de filtro preto em cima do solo húmido, seguido da colocação de dez sementes em cima do mesmo, de modo idêntico ao que se indica na Figura 2.6. O ensaio foi realizado em triplicado, ou seja, para cada espécie, cada percentagem de efluente foi testada em três caixas, o que se traduz num total de 30 sementes de cada espécie, em cada uma das concentrações do efluente tratado da ETAR da ETVO.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*



**Figura 2.6** – Ensaio de germinação com “Phytotoxkit” com solo padrão, no início do ensaio de germinação.

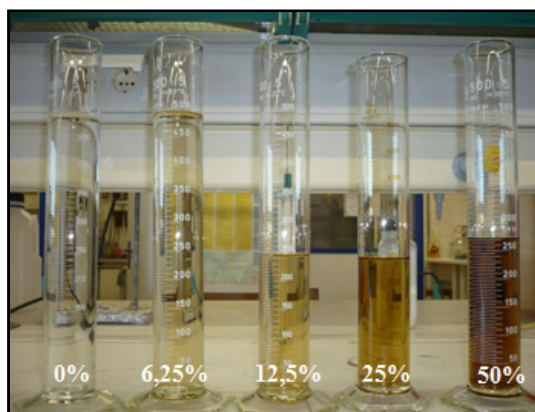
Este ensaio teve uma duração de três dias, ao longo dos quais as caixas fechadas foram mantidas numa estufa, sem luz, a 25°C. Após o fim do ensaio foi realizada a contagem das sementes germinadas, a medição do comprimento das raízes e a medição do comprimento dos cotilédones. Neste caso, foi considerado como planta germinada as que apresentavam o/os cotilédones acima do nível superior do papel de filtro, tal como é exemplificado na Figura 2.7.



**Figura 2.7** – Ensaio de germinação com “Phytotoxkit” com solo padrão, no final do ensaio de germinação (Linha vermelha: limite acima do qual se considerou uma planta como germinada).

#### **2.4.4. Ensaio de germinação e crescimento nos quais se utilizou o solo da ETVO e o efluente da ETAR**

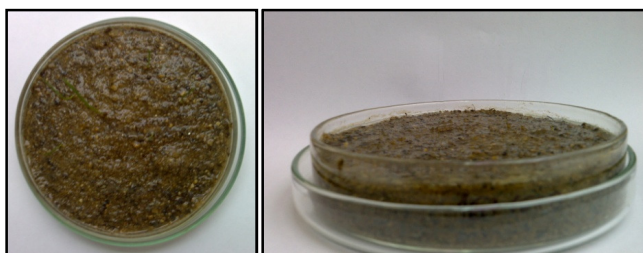
Depois de realizados os ensaios anteriores e após terem sido analisados os resultados neles obtidos, procedeu-se à realização do ensaio com solo existente na ETVO, para que os resultados pudessem traduzir o efeito do efluente na germinação das sementes em condições edáficas semelhantes às da ETVO. Tendo em conta os resultados obtidos até este ponto, foi necessário definir-se um novo intervalo de diluições do efluente. As diluições do efluente utilizadas neste ensaio foram de 0%, 6,25%, 12,5%, 25% e 50% (v/v), como é apresentado na Figura 2.8. Os ensaios com solo da ETVO foram realizados em placa e em vaso, apenas com a mistura de relva. Durante o decorrer do ensaio, as regas diárias foram efectuadas sempre com as mesmas diluições em cada vaso.



**Figura 2.8** – Aspecto visual das concentrações do efluente da ETAR da ETVO, utilizadas na rega da relva em placa e em vaso.

##### **2.4.4.1. Ensaio de germinação em placa**

Este ensaio foi realizado em duplicado, com a aplicação de 10 sementes de relva, por placa, e com a duração de 20 dias, durante os quais foram efectuadas regas diárias. Nos primeiros dias, as placas foram mantidas no escuro, a  $25\pm 2^\circ\text{C}$ . Após a germinação das sementes, as placas foram igualmente colocadas sob luz artificial (7 lâmpadas da marca Sylvana, do tipo Standard F18W/54-765-T8 “Daylight”), com um ciclo de 11 horas de luz e 13 horas de escuro, até ao termo do ensaio, a uma temperatura de  $25\pm 2^\circ\text{C}$ . A Figura 2.9 ilustra um exemplar do ensaio.



**Figura 2.9** – Início do ensaio de germinação em placa, com utilização de solo da ETVO e do efluente da ETAR.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

As regas diárias foram efectuadas sempre com as diferentes concentrações do efluente. Pelo que, ao fim dos vinte dias do ensaio, os volumes totais aplicados de efluente foram os que constam no Quadro 2.3.

**Quadro 2.3** - Volume total de efluente aplicado em 20 dias, no ensaio em placa com sementes de relva e com solo da ETVO.

| Concentrações do efluente                         | 0%    | 6,25% | 12,5% | 25%  | 50% |
|---|-------|-------|-------|------|-----|
| Volume total de efluente aplicado em 20 dias (ml) | 0,000 | 14,5  | 28,8  | 55,6 | 114 |

#### 2.4.4.2. Ensaio de germinação e crescimento em vaso

Este ensaio foi realizado em triplicado, tendo sido aplicadas 15 sementes de relva por vaso. O ensaio decorreu num período de 30 dias, durante o qual foram efectuadas regas diárias com o efluente da ETAR da ETVO. Nos primeiros dias, os vasos foram mantidos no escuro, a  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Após a germinação das sementes, os vasos foram colocados em condições de luz artificial, (7 lâmpadas da marca Syvana, do tipo Standard F18W/54-765-T8 “Daylight”), com um ciclo de 11 horas de luz e 13 horas de escuro, até ao termo do ensaio, a uma temperatura de  $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ , de modo idêntico ao que foi realizado nos ensaios anteriores. A Figura 2.10 demonstra um exemplar do ensaio realizado em vaso com o solo da ETVO.



**Figura 2.10** – Ensaio de germinação e crescimento em vaso, com utilização de sementes de relva e solo da ETVO.

As regas diárias, durante o período do ensaio, foram efectuadas sempre com as diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO. Assim, tendo em consideração cada uma das concentrações, os volumes totais de efluente aplicado foram os que se encontram referidos no Quadro 2.4.

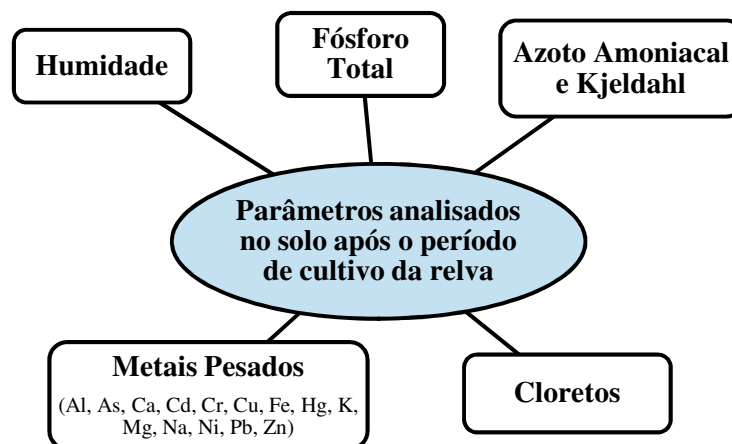
**Quadro 2.4** - Volume total de efluente aplicado em 30 dias, no ensaio em vaso com solo da ETVO.

| Concentrações do efluente                         | 0%    | 6,25% | 12,5% | 25%  | 50% |
|---|-------|-------|-------|------|-----|
| Volume total de efluente aplicado em 30 dias (ml) | 0,000 | 21,8  | 43,5  | 86,4 | 175 |

A realização do presente ensaio permitiu não apenas avaliar a germinação das sementes de relva, como também o seu crescimento ao longo de um período de tempo superior ao que foi utilizado nos ensaios anteriores (30 dias). Além disso, este ensaio tornou possível a recolha de biomassa (raízes e parte aérea) formada nos vasos. A biomassa e o solo regado com cada uma das diluições, foram posteriormente analisados quimicamente.

## **2.5. Caracterização química do solo da ETVO após o ensaio de germinação e crescimento de relva em vaso**

De modo a verificar as alterações ocorridas no solo, originadas pela rega com diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO, foram realizadas análises químicas ao solo depois da realização dos ensaios de germinação e crescimento e depois da colheita da parte aérea e das raízes da biomassa formada. Os parâmetros analisados são apresentados na Figura 2.11.



**Figura 2.11** – Caracterização do solo da ETVO após o período de germinação e crescimento da relva em vaso, com rega utilizando o efluente da ETAR.

As metodologias utilizadas para a determinação destes parâmetros foram as mesmas que se encontram descritas nas secções 2.3.1 e 2.3.5-2.3.9.

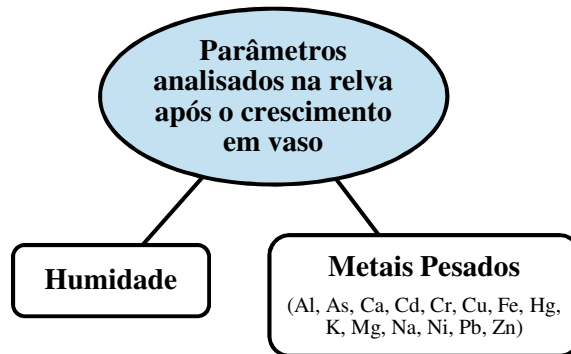
## **2.6. Caracterização química da relva após o ensaio de crescimento em vaso com o solo da ETVO**

De modo a analisar-se a acumulação de metais na relva, a biomassa (raízes + parte aérea) foi colhida no final do ensaio de crescimento em vaso no solo da ETVO. Foram quantificados os mesmos metais que foram analisados no solo. Foram utilizadas as metodologias descritas na secção 2.3.9. Para que os resultados pudessem ser expressos em mg/kg de massa seca, foi necessário



*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

determinar-se a humidade existente na biomassa, através da mesma metodologia utilizada no solo (secção 2.3.1). A Figura 2.12 sintetiza estes procedimentos.



**Figura 2.12** – Caracterização da relva após o período de germinação e crescimento em vaso com o solo da ETVO e o efluente da ETAR.



### **3. Resultados e Discussão**

#### **3.1. Caracterização química do efluente da ETAR da ETVO**

A caracterização química do efluente é fundamental na verificação da sua composição, nomeadamente na quantificação de espécies químicas essenciais à rega, bem como de outras associadas a efeitos tóxicos nas plantas regadas. Esta caracterização permite ainda a definição de possíveis taxas de diluições do efluente, no caso de existirem espécies químicas com teores superiores ao recomendado para rega.

No Quadro 3.1 são apresentados os resultados referentes às diferentes espécies químicas que foram analisadas no efluente da ETAR da ETVO, nas duas campanhas de recolha que foram realizadas em Março e Maio de 2011.

De acordo com os resultados obtidos, verificaram-se parâmetros com teores superiores aos valores máximos recomendados pelo Decreto-Lei nº 236/98, para a reutilização na rega (Quadro 1.1). Parâmetros como CE, cloretos e nitratos apresentaram-se 90% superiores ao VMR, enquanto a  $R_{Na}$  80% e os SST cerca de 40% superior.

Foram registadas, ainda, algumas diferenças entre a primeira e a segunda recolha, para alguns parâmetros, nomeadamente os SST, o cálcio, o CQO, o fósforo e os nitratos. Relativamente aos SST, ao cálcio e aos nitratos, registaram-se aumentos significativos (34%, 60%, 14%, respectivamente) dos seus teores no efluente da segunda recolha, comparativamente aos valores obtidos na primeira recolha.

Os teores obtidos para os metais pesados presentes no efluente tratado (Al, As, Cd, Pb, Cr, Ni, Cu, Fe e Zn) foram consideravelmente inferiores aos VMR indicados no Decreto-Lei nº 236/98.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*

*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

**Quadro 3.1** – Características químicas do efluente da ETAR da ETVO.

| Parâmetros                                    | 1ª Recolha   |          |       |   | 2ª Recolha   |          |       |   | Média       | $\sigma$ | C.V.  | Decreto-Lei nº236/98 |      |
|---|--------------|----------|-------|---|--------------|----------|-------|---|-------------|----------|-------|----------------------|------|
|   | x            | $\sigma$ | C.V.  | N | x            | $\sigma$ | C.V.  | N |             |          |       | VMR                  | VMA  |
| Alumínio (mg Al/L)                            | <0,34 (LQ)   | 0,002    | -     | 2 | <0,34 (LQ)   | 0,006    | -     | 2 | <0,34(LQ)   | -        | -     | 5,0                  | 20   |
| Arsénio (mg As/L)                             | 0,114        | 0,001    | 2,59% | 2 | 0,154        | 0,003    | 3,70% | 2 | 0,134       | 0,03     | 21,1% | 0,1                  | 10   |
| Azoto Amoniacal (mg N/L)                      | 56,0         | -        | -     | 1 | 42,0         | -        | -     | 1 | 49,0        | 9,9      | 20,2% | -                    | -    |
| Azoto Kjeldhal (mg N/L)                       | 392          | -        | -     | 1 | 350          | -        | -     | 1 | 371         | 29,7     | 8,0%  | -                    | -    |
| Azoto Orgânico (mg N/L)                       | 336          | -        | -     | 1 | 308          | -        | -     | 1 | 322         | 19,8     | 6,1%  | -                    | -    |
| Cádmio (mg Cd/L)                              | <0,032 (LQ)  | 0,005    | 12,7% | 2 | 0,17         | 0,013    | 16,5% | 2 | <0,032(LQ)  | -        | -     | 0,01                 | 0,05 |
| Cálcio (mg Ca/L)                              | 59,8         | 14,5     | 53,9% | 2 | 145          | 20,9     | 32,1% | 2 | 102,2       | 59,9     | 58,6% | -                    | -    |
| Chumbo (mg Pb/L)                              | <0,1 (LQ)    | 0,026    | -     | 2 | <0,1 (LQ)    | 0,004    | -     | 2 | <0,1(LQ)    | -        | -     | 5,0                  | 20   |
| Cloretos (mg Cl/L)                            | 2395         | -        | -     | 1 | 2444         | -        | -     | 1 | 2420        | 34,6     | 1,4%  | 70                   | -    |
| Cobre (mg Cu/L)                               | <0,041 (LQ)  | 0,005    | -     | 2 | <0,041 (LQ)  | 0,001    | 2,30% | 2 | <0,041(LQ)  | -        | -     | 0,2                  | 5,0  |
| Condutividade (dS/m)                          | 15,2         | -        | -     | 1 | 17,0         | -        | -     | 1 | 16,1        | 1,3      | 7,9%  | 1,0                  | -    |
| CQO (mg O <sub>2</sub> /L)                    | 758          | 8,78     | 1,2%  | 3 | 545          | 158      | 28,9% | 3 | 651         | 150,0    | 23,0% | -                    | -    |
| Crómio (mg Cr/L)                              | <0,05 (LQ)   | 0,002    | 14,0% | 2 | < 0,05 (LQ)  | 0,0004   | -     | 2 | <0,05(LQ)   | -        | -     | 0,1                  | 20   |
| Ferro (mg Fe/L)                               | 1,63         | 0,049    | 6,70% | 2 | 1,30         | 0,018    | 3,10% | 2 | 1,46        | 0,230    | 15,8% | 5,0                  | -    |
| Fósforo (mg P/L)                              | 90,4         | -        | -     | 1 | 37,1         | 3,10     | 8,4%  | 2 | 63,7        | 37,7     | 59,1% | -                    | -    |
| Magnésio (mg Mg/L)                            | 32,8         | 0,047    | 0,23% | 2 | 25,2         | 1,32     | 11,6% | 2 | 29,0        | 5,37     | 18,5% | -                    | -    |
| Mercurio (mg Hg/L)                            | <0,0012 (LQ) | 0,006    | -     | 2 | <0,0012 (LQ) | 0,0003   | 68,2% | 2 | -           | -        | -     | -                    | -    |
| Níquel (mg Ni/L)                              | <0,063 (LQ)  | 0,002    | -     | 2 | <0,063 (LQ)  | 0,008    | -     | 2 | <0,063 (LQ) | -        | -     | 0,5                  | 2,0  |
| Nitratos (mg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L) | 613          | 15,3     | 2,5%  | 3 | 710          | 21,8     | 3,1%  | 3 | 662         | 68,4     | 10,3% | 50                   | -    |

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

**Quadro 3.1 – (Cont.)**

| Parâmetros                                    | 1ª Recolha |          |       |   | 2ª Recolha |          |       |   | Média | $\sigma$ | C.V.  | Decreto-Lei nº236/98 |     |
|---|------------|----------|-------|---|------------|----------|-------|---|-------|----------|-------|----------------------|-----|
|   | x          | $\sigma$ | C.V.  | N | x          | $\sigma$ | C.V.  | N |       |          |       | VMR                  | VMA |
| Nitritos (mg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L) | 79,0       | 5,29     | 6,7%  | 3 | 76,0       | 3,28     | 4,3%  | 3 | 77,5  | 2,1      | 2,7%  | -                    | -   |
| pH amostra                                    | 7,30       | -        | -     | 1 | 7,57       | -        | -     | 1 | 7,44  | 0,2      | 2,6%  | [6,5-8,4]            | -   |
| Potássio (mg K/L)                             | 1797       | 1,93     | 0,20% | 2 | 1730       | 0,004    | 4,30% | 2 | 1764  | 47,4     | 2,7%  | -                    | -   |
| R <sub>Na</sub>                               | 58,7       | -        | -     | - | 24,0       | -        | -     | - | 41,3  | 24,5     | 59,4% | 8,0                  | -   |
| Sódio (mg Na/L)                               | 399        | 90,7     | 50,0% | 2 | 221        | 38,5     | 38,7% | 2 | 310   | 126      | 40,7% | -                    | -   |
| SST (mg SST/L)                                | 82,2       | 3,85     | 4,7%  | 3 | 124        | 30,8     | 24,7% | 3 | 103   | 29,9     | 28,9% | 60                   | -   |
| Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /L)              | 160        | -        | -     | 1 | 270        | -        | -     | 1 | 215   | 77,8     | 36,2% | 575                  | -   |
| Zinco (mg Zn/L)                               | 0,156      | 0,063    | 89,6% | 2 | 0,105      | 0,004    | 8,40% | 2 | 0,130 | 0,04     | 27,8% | 2,0                  | 10  |

x – Média;  $\sigma$  – Desvio Padrão; C.V. – Coeficiente de variação; N – Número de medições; LQ – Limite de Quantificação; (-) Valor não aplicável

### 3.2. Caracterização química do solo da ETVO

Os resultados médios obtidos referentes às características químicas analisadas no solo da ETVO são apresentados no Quadro 3.2.

**Quadro 3.2** - Características químicas do solo dos espaços verdes da ETVO.

| <b>Parâmetro</b>               | <b>x</b>    | <b>σ</b> | <b>C.V.</b> | <b>N</b> |
|--------------------------------|-------------|----------|-------------|----------|
| Alumínio (mg Al/kg b.s.)       | 12077       | 471,08   | -           | 2        |
| Arsénio (mg As/kg b.s.)        | 7,43        | 1,10     | -           | 2        |
| Azoto Amoniacal (mg N/kg b.s.) | 4307        | -        | -           | 1        |
| Azoto Kjeldhal (mg N/kg b.s.)  | 718         | 0,00     | 0,0%        | 2        |
| Azoto Orgânico (mg N/kg b.s.)  | 714         | -        | -           | -        |
| Cádmio (mg Cd/kg b.s.)         | <6,56 (LQ)  | 0,77     | -           | 2        |
| Cálcio (mg Ca/kg b.s.)         | 13607       | 3224     | -           | 2        |
| Carbono (% m/m b.s.)           | 0,923       | 0,109    | 11,8%       | 2        |
| Chumbo (mg Pb/kg b.s.)         | 31,7        | 6,38     | -           | 2        |
| Cloretos (mg Cl/kg b.s.)       | 97,4        | -        | -           | 1        |
| Cobre (mg Cu/kg b.s.)          | 32,5        | 2,80     | -           | 2        |
| Condutividade (dS/m)           | 0,417       | -        | -           | 1        |
| Crómio (mg Cr/kg b.s.)         | <10,3 (LQ)  | 0,58     | -           | 2        |
| Ferro (mg Fe/kg b.s.)          | 10357       | 629,08   | -           | 2        |
| Fósforo (mg P/kg b.s.)         | 1001        | 191      |             | 2        |
| Magnésio (mg Mg/kg b.s.)       | 3318        | 539      | -           | 2        |
| Matéria Orgânica (% m/m b.s.)  | 1,59        | 0,188    | 11,8%       | 2        |
| Mercúrio (mg Hg/kg b.s.)       | <0,246 (LQ) | 0,13     | -           | 2        |
| Níquel (mg Ni/kg b.s.)         | <12,9 (LQ)  | 4,57     | -           | 2        |
| pH em água                     | 6,20        | -        | -           | 1        |
| Potássio (mg K/kg b.s.)        | 1866        | 198,17   | -           | 2        |
| Sódio (mg Na/kg b.s.)          | <2,66 (LQ)  | 20,06    | -           | 2        |
| Zinco (mg Zn/kg b.s.)          | 85,8        | 0,551    | -           | 2        |

**x** – Média; **σ** – Desvio Padrão; **C.V.** – Coeficiente de variação; **N** – Número de medições;  
**b.s.** – Base seca; **LQ** – Limite Quantificação; (-) Valor não aplicável

Através da comparação dos resultados obtidos com os valores apresentados no Quadro 1.1 (secção 1.1.4.3), verifica-se que nenhum dos valores analisados para os metais ultrapassou os valores máximos admissíveis para solos a regar com águas residuais. Elementos como o alumínio, o ferro, o magnésio e o potássio, apesar de não apresentarem um valor-limite, apresentaram teores elevados.

### 3.3. Ensaio de capacidade germinativa das sementes em areia

#### 3.3.1. Ensaio em placa

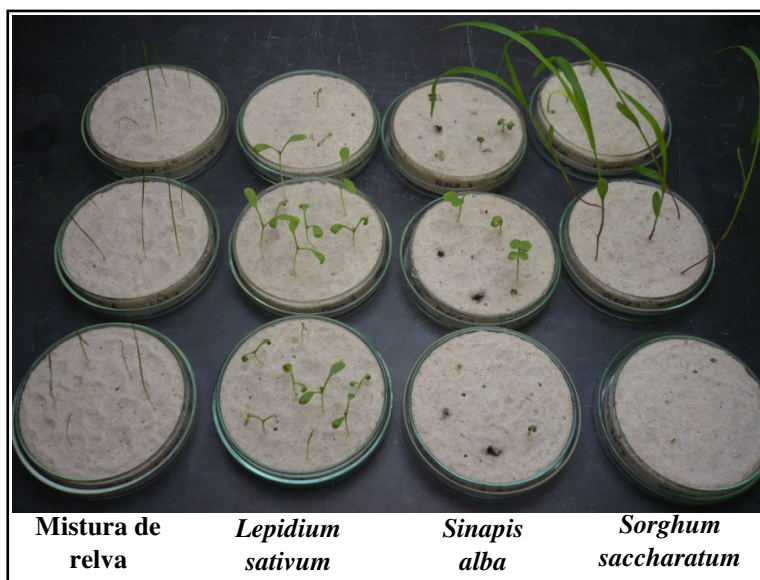
Verificou-se, no ensaio em placa, que a capacidade germinativa das várias plantas estudadas não foi muito elevada (Quadro 3.3).

Atendendo ao facto deste ensaio ter decorrido num período de 15 dias, poderá, no caso específico da relva, ser justificativo da reduzida germinação, pois esta é uma planta que apresenta um processo germinativo mais lento do que as restantes sementes.

**Quadro 3.3** – Capacidade germinativa de cada planta no ensaio em placa.

| Planta                       | Capacidade germinativa (%) |
|------------------------------|----------------------------|
| <i>Sorghum saccharatum</i>   | 47                         |
| <i>Sinapis alba</i>          | 71                         |
| <i>Lepidium sativum</i>      | 57                         |
| Mistura de sementes de relva | 33                         |

Na Figura 3.1 pode ser observado o ensaio em placa, em triplicado, com cada planta, no fim do período de germinação.



**Figura 3.1** - Imagem captada no último dia do ensaio em placa, relativo à capacidade germinativa de cada planta, em areia.

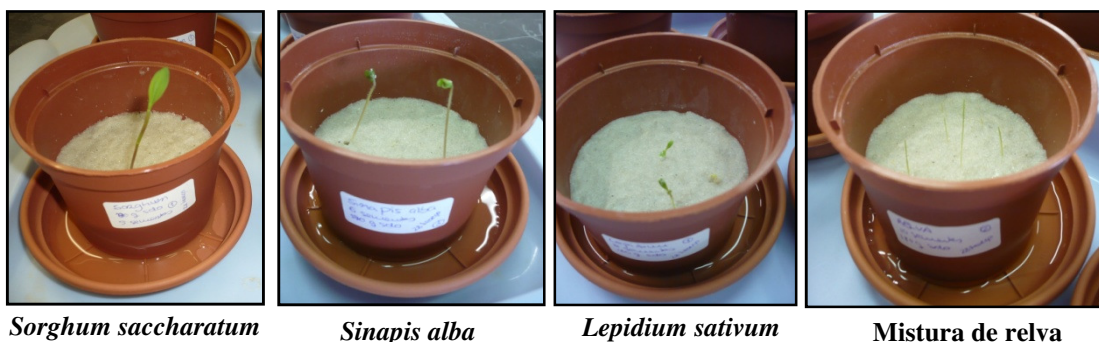
### 3.3.2. Ensaio em vaso

As percentagens de germinação obtidas no ensaio em vaso são apresentadas no Quadro 3.4. Todas as plantas ensaiadas apresentaram capacidades germinativas reduzidas. No entanto, neste ensaio, a mistura de relva foi a planta que apresentou uma taxa de germinação mais elevada. O facto de existir maior altura de areia no vaso, relativamente aos ensaios em placa, poderá ter influenciado a colocação das sementes em profundidade e como tal, a germinação das mesmas. Por outro lado, o ensaio em vaso foi realizado 5 dias após o início do ensaio em placa, pelo que existe a possibilidade de as sementes terem perdido, a alguma da sua capacidade germinativa.

**Quadro 3.4** – Capacidade germinativa de cada planta no ensaio em placa.

| Planta                     | Capacidade germinativa (%) |
|----------------------------|----------------------------|
| <i>Sorghum saccharatum</i> | 33                         |
| <i>Sinapis alba</i>        | 17                         |
| <i>Lepidium sativum</i>    | 33                         |
| Mistura de relva           | 47                         |

Através da Figura 3.2 podem ser observados os exemplares de cada um dos ensaios em vaso, com areia, para cada uma das plantas estudadas, após 7 dias de germinação.



**Figura 3.2** - Ensaio em vaso, com areia, após 7 dias de germinação, relativo à capacidade germinativa de cada planta ensaiada.

### 3.4. Ensaio de germinação em areia e utilizando o efluente da ETAR da ETVO como água de rega

Após a avaliação da capacidade germinativa de cada planta, deu-se início aos ensaios de germinação em areia com efluente da ETAR da ETVO como água de rega. Este ensaio permitiu avaliar o efeito do efluente na germinação das plantas *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba*, *Lepidium sativum* e mistura de relva.

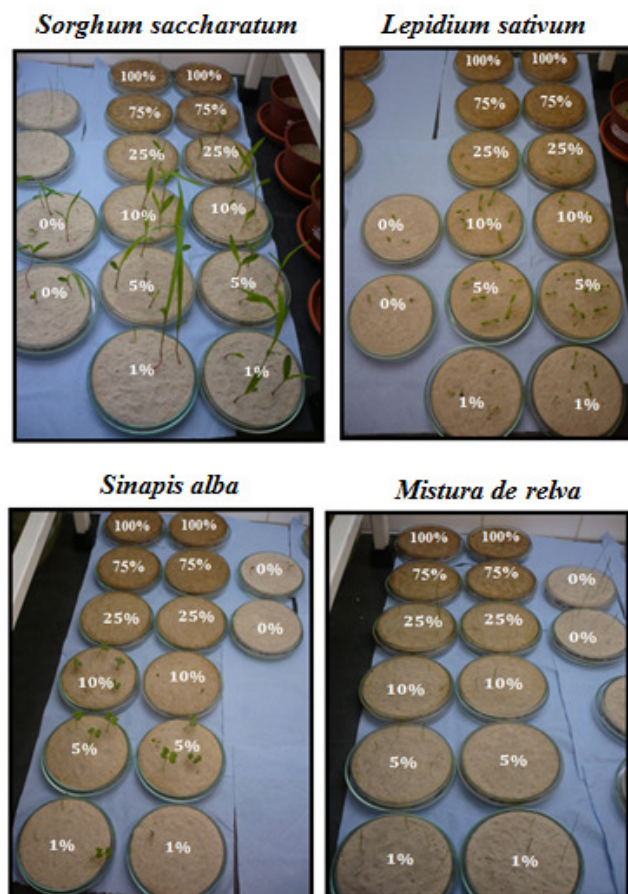
### 3.4.1. Ensaio em placa

A Figura 3.3 apresenta os ensaios em placa, realizados em duplicado, com sementes de *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba*, *Lepidium sativum* e mistura de relva. As placas foram regadas com concentrações de 0%, 1%, 5%, 10%, 25%, 75% e 100% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO.

À medida que se aplicou maiores concentrações de efluente, maior foi a quantidade de compostos acumulados na areia e, consequentemente, mais idêntica se tornou a tonalidade do solo com a do efluente.

Durante os períodos de rega foi possível constatar que, nas placas onde foram aplicadas concentrações mais elevadas do efluente (75% e 100% (v/v)), a superfície da areia apresentou-se mais dura e o efluente demonstrou maior dificuldade em infiltrar-se. Este facto foi indicativo da existência de problemas de permeabilidade da areia, resultante dos elevados teores de sais aplicados na rega, em particular nestas duas percentagens de concentração do efluente.

A Figura 3.3, obtida no último dia do ensaio, demonstra a reduzida germinação das plantas nas placas regadas com 75% e 100% (v/v) de efluente.



**Figura 3.3** – Ensaio em placa com areia, após 15 dias, para cada planta, onde foram aplicadas concentrações crescentes de efluente da ETAR da ETVO.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**

Nos Quadros 3.5 a 3.8 podem ser observadas as cargas totais de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio, de acordo com as diferentes concentrações do efluente e tendo em conta os volumes totais de rega aplicados durante os 15 dias do ensaio, em cada uma das plantas.

**Quadro 3.5** – Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação de *Sorghum saccharatum*, em placa, com areia.

| Parâmetros                                     | Concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas em cada rega (v/v) |       |       |      |      |      |      |
|--|--|-------|-------|------|------|------|------|
|  | 0%   | 1%    | 5%    | 10%  | 25%  | 75%  | 100% |
|  | Cargas aplicadas   |       |       |      |      |      |      |
| SST (kg/ha)                                    | 0,000  | 0,109 | 0,517 | 1,09 | 2,61 | 8,18 | 11,2 |
| Nitratos (kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ha) | 0,000  | 0,813 | 3,86  | 8,13 | 19,5 | 61,0 | 83,8 |
| Nitritos (kg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /ha) | 0,000  | 0,105 | 0,497 | 1,05 | 2,51 | 7,86 | 10,8 |
| Azoto Orgânico (kg N/ha)                       | 0,000  | 0,446 | 2,11  | 4,46 | 10,7 | 33,4 | 45,9 |
| Fósforo Total (kg P/ha)                        | 0,000  | 0,120 | 0,569 | 1,20 | 2,87 | 8,99 | 12,4 |
| Cloretos (kg Cl/ha)                            | 0,000  | 3,18  | 15,07 | 31,8 | 76,2 | 238  | 327  |
| Sulfatos (kg SO <sub>4</sub> /ha)              | 0,000  | 0,212 | 1,01  | 2,12 | 5,09 | 15,9 | 21,9 |
| Sódio (kg Na/ha)                               | 0,000  | 0,530 | 2,51  | 5,30 | 12,7 | 39,7 | 54,6 |

**Quadro 3.6** – Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação de *Lepidium sativum*, em placa, com areia.

| Parâmetros                                     | Concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas em cada rega (v/v) |       |       |      |      |      |      |
|--|--|-------|-------|------|------|------|------|
|  | 0%   | 1%    | 5%    | 10%  | 25%  | 75%  | 100% |
|  | Cargas aplicadas   |       |       |      |      |      |      |
| SST (kg/ha)                                    | 0,000  | 0,201 | 0,958 | 1,90 | 4,81 | 14,4 | 19,7 |
| Nitratos (kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ha) | 0,000  | 1,50  | 7,15  | 14,2 | 35,9 | 108  | 147  |
| Nitritos (kg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /ha) | 0,000  | 0,193 | 0,921 | 1,83 | 4,62 | 13,9 | 18,9 |
| Azoto Orgânico (kg N/ha)                       | 0,000  | 0,821 | 3,92  | 7,76 | 19,7 | 58,9 | 80,5 |
| Fósforo Total (kg P/ha)                        | 0,000  | 0,221 | 1,05  | 2,09 | 5,29 | 15,8 | 21,6 |
| Cloretos (kg Cl/ha)                            | 0,000  | 5,85  | 27,9  | 55,3 | 140  | 420  | 574  |
| Sulfatos (kg SO <sub>4</sub> /ha)              | 0,000  | 0,391 | 1,86  | 3,70 | 9,36 | 28,1 | 38,3 |
| Sódio (kg Na/ha)                               | 0,000  | 0,975 | 4,65  | 9,23 | 23,4 | 70,0 | 95,6 |



**Quadro 3.7** - Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação de *Sinapis alba*, em placa, com areia.

| Parâmetros                        | Concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas em cada rega (v/v) |       |       |       |      |      |      |
|-----------------------------------|--|-------|-------|-------|------|------|------|
|                                   | 0%   | 1%    | 5%    | 10%   | 25%  | 75%  | 100% |
|                                   | Cargas aplicadas   |       |       |       |      |      |      |
| SST (kg/ha)                       | 0,000  | 0,219 | 1,071 | 2,12  | 5,27 | 14,9 | 19,1 |
| Nitratos (kg NO <sub>3</sub> /ha) | 0,000  | 1,64  | 7,99  | 15,8  | 39,3 | 111  | 143  |
| Nitritos (kg NO <sub>2</sub> /ha) | 0,000  | 0,211 | 1,03  | 2,04  | 5,06 | 14,3 | 18,4 |
| Azoto Orgânico (kg N/ha)          | 0,000  | 0,896 | 4,38  | 8,66  | 21,5 | 60,9 | 78,1 |
| Fósforo Total (kg P/ha)           | 0,000  | 0,241 | 1,18  | 2,33  | 5,79 | 16,4 | 21,0 |
| Cloretos (kg Cl/ha)               | 0,000  | 6,39  | 31,20 | 61,7  | 154  | 434  | 557  |
| Sulfatos (kg SO <sub>4</sub> /ha) | 0,000  | 0,427 | 2,08  | 4,12  | 10,3 | 29,0 | 37,2 |
| Sódio (kg Na/ha)                  | 0,000  | 1,064 | 5,20  | 10,29 | 25,6 | 72,3 | 92,8 |

**Quadro 3.8** - Cargas totais (em kg/ha) de algumas espécies químicas aplicadas durante os 15 dias do ensaio de germinação da mistura de relva, em placa, com areia.

| Parâmetros                        | Concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas em cada rega (v/v) |       |       |      |      |      |      |
|-----------------------------------|--|-------|-------|------|------|------|------|
|                                   | 0%   | 1%    | 5%    | 10%  | 25%  | 75%  | 100% |
|                                   | Cargas aplicadas   |       |       |      |      |      |      |
| SST (kg/ha)                       | 0,000  | 0,112 | 0,540 | 1,11 | 2,67 | 8,26 | 11,7 |
| Nitratos (kg NO <sub>3</sub> /ha) | 0,000  | 0,834 | 4,03  | 8,30 | 19,9 | 61,6 | 87,1 |
| Nitritos (kg NO <sub>2</sub> /ha) | 0,000  | 0,107 | 0,518 | 1,07 | 2,57 | 7,94 | 11,2 |
| Azoto Orgânico (kg N/ha)          | 0,000  | 0,457 | 2,21  | 4,55 | 10,9 | 33,8 | 47,7 |
| Fósforo Total (kg P/ha)           | 0,000  | 0,123 | 0,593 | 1,22 | 2,94 | 9,08 | 12,8 |
| Cloretos (kg Cl/ha)               | 0,000  | 3,26  | 15,7  | 32,4 | 77,8 | 241  | 340  |
| Sulfatos (kg SO <sub>4</sub> /ha) | 0,000  | 0,218 | 1,05  | 2,17 | 5,20 | 16,1 | 22,7 |
| Sódio (kg Na/ha)                  | 0,000  | 0,543 | 2,62  | 5,40 | 13,0 | 40,1 | 56,7 |

Durante os primeiros 5 dias do ensaio não foram verificadas germinações em nenhuma das placas, relativamente a todas as plantas ensaiadas. As primeiras germinações ocorreram apenas no 6º dia do ensaio para a *Lepidium sativum*, no 7º dia do ensaio para o *Sorghum saccharatum* e para a relva no 9º dia de ensaio para a *Sinapis alba*.

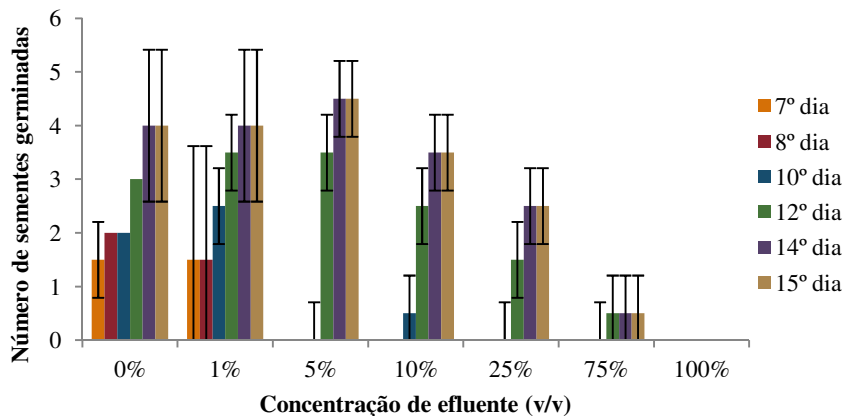
As Figuras 3.4 a 3.7 apresentam a evolução da germinação de cada planta, ao longo do tempo de duração dos ensaios em placa, com areia, em função da concentração do efluente aplicado na rega. O total de sementes aplicadas divergiu em cada espécie, devido ao seu tamanho e à área disponível nas placas. Foram utilizadas, em cada placa, 5 sementes de *Sorghum saccharatum*, 8 sementes de *Lepidium sativum*, 6 sementes *Sinapis alba* e 10 sementes da mistura de relva.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**

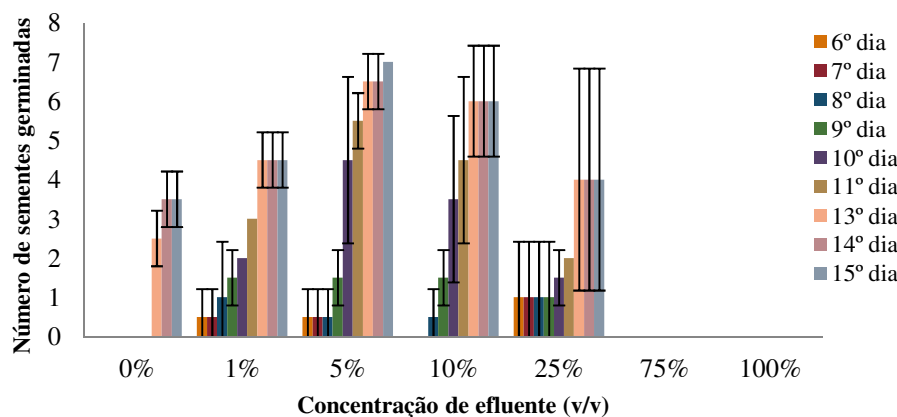
Em geral, as plantas estudadas apresentaram maior número de sementes germinadas nas placas regadas com concentrações de efluente até 10% (v/v).

No ensaio com *Sorghum saccharatum* (Figura 3.4), apenas se verificou ausência de germinação na placa regada com 100% do efluente, embora nas placas que foram regadas com 25% e 75% (v/v) se tenham observado reduções muito significativas da germinação relativamente ao ensaio com 0% (v/v) (ensaio em branco). Por outro lado, no ensaio com *Lepidium sativum* (Figura 3.5) e mistura de espécies de relva (Figura 3.7), a ausência de germinação foi registada nas placas onde foram aplicadas regas com 75% e 100% (v/v) do efluente. Verificou-se ainda a ausência de germinação nas placas com *Sinapis alba* que foram regadas com 25%, 75% e 100% (v/v) do efluente.

É também interessante registar que a adição do efluente nas concentrações de 1% e 5% (v/v) parece ter beneficiado a germinação das plantas *Lepidium sativum* e *Sinapis alba*.

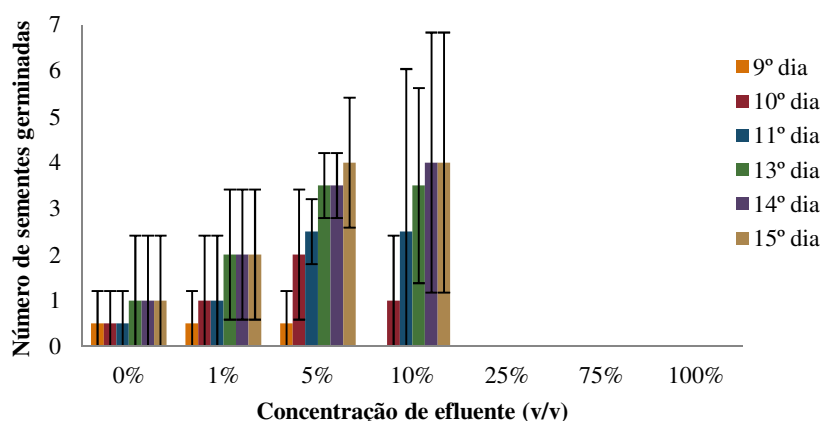


**Figura 3.4** - Evolução da germinação do *Sorghum saccharatum*, no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.

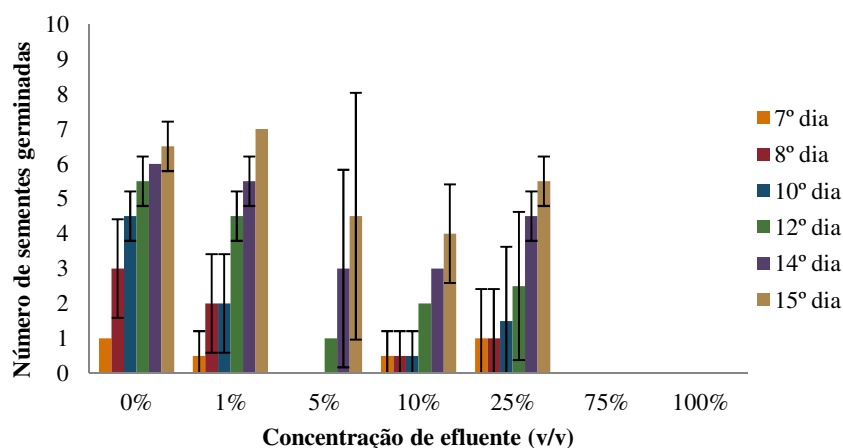


**Figura 3.5** - Evolução da germinação do *Lepidium sativum*, no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*



**Figura 3.6** - Evolução da germinação de *Sinapis alba*, no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.



**Figura 3.7** - Evolução da germinação da mistura de relva, no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.

De modo a determinar-se as percentagens de germinação e de inibição de germinação associadas a cada concentração de efluente aplicada durante a rega, foram comparados os valores de sementes germinadas com o total de sementes colocadas em cada placa (Figuras 3.8 a 3.11).

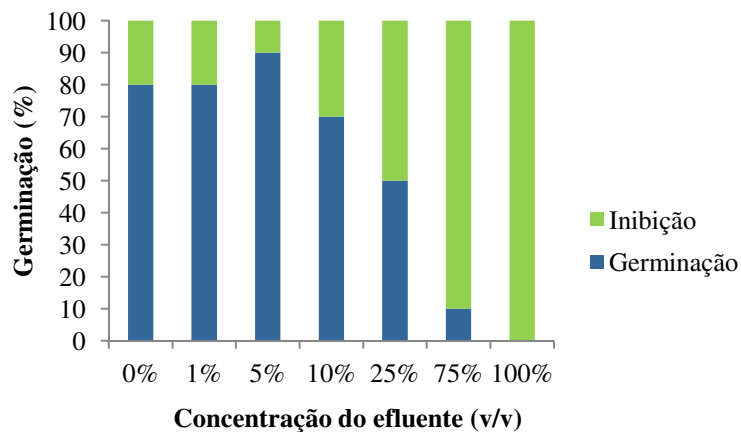
Relativamente ao *Sorghum saccharatum* (Figura 3.8), nas placas regadas com concentrações entre 0% e 25% (v/v) do efluente foram obtidas taxas de germinação entre 50% e 90%. Neste intervalo, o pico de germinação registado foi de 90%, nas placas regadas com 5% (v/v) do efluente. Contudo, ocorreu inibição total da germinação quando foi aplicada a concentração de 100% (v/v) do efluente, e uma taxa de 90% de inibição quando efectuada a rega com uma concentração de 75% (v/v) do efluente.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

No caso do *Lepidium sativum* (Figura 3.9), com a aplicação de efluente em concentrações entre 1% e 25% (v/v), obtiveram-se percentagens de germinação entre 50% e 90%. Verificou-se ainda um pico de germinação entre as concentrações de 1% e os 10% (v/v) do efluente, principalmente na placa regada com 5% (v/v) do efluente, onde se obteve uma taxa de germinação de 90%. A ocorrência deste pico de germinação significa que naquele intervalo de concentração do efluente existiu um efeito positivo do efluente na germinação da espécie. Em sentido contrário, foi possível verificar que o efluente causou inibição total da germinação quando foram aplicadas as concentrações de 75% e 100% (v/v).

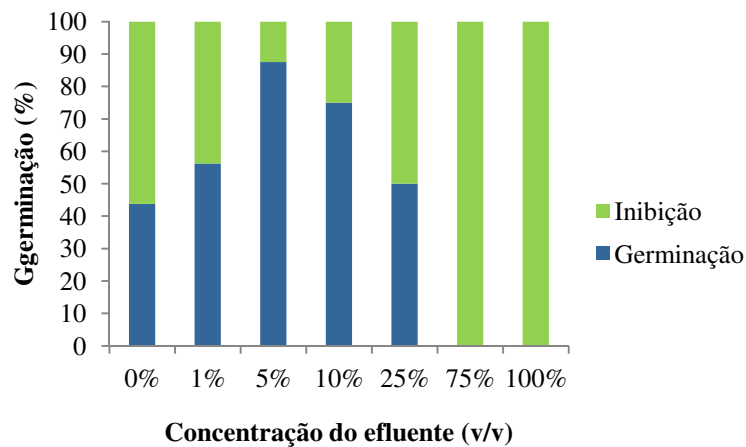
Para a espécie *Sinapis alba* (Figura 3.10) verificou-se a ocorrência de uma taxa de germinação próxima de 70% nas placas onde foram efectuadas regas com concentrações de 5% e 10% (v/v) do efluente. Nas placas que foram regadas com as concentrações de 25%, 75% e 100% (v/v) do efluente observou-se a inibição total da germinação.

No ensaio com as misturas de plantas que constituem a relva (Figura 3.11), a maior taxa de germinação obtida foi de 70%, nas placas regadas com apenas 1% (v/v) de efluente. Nas placas regadas com 75% e 100% (v/v) de efluente, foi obtida uma taxa de inibição da germinação de 100%.

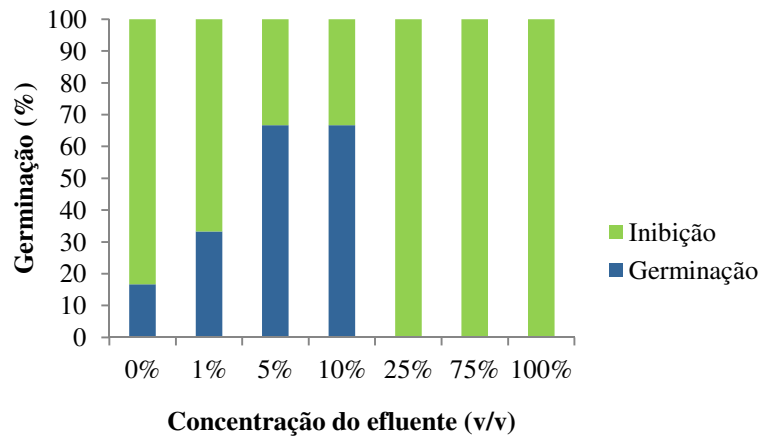


**Figura 3.8** - Percentagens de germinação e inibição de *Sorghum saccharatum* no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.

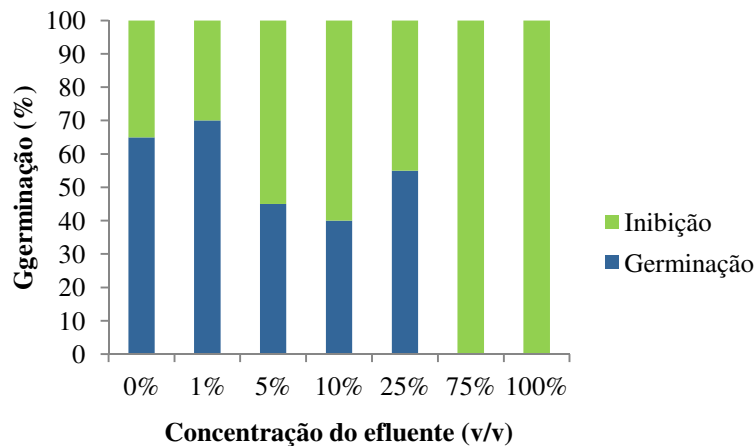
*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**



**Figura 3.9** - Percentagens de germinação e inibição de *Lepidium sativum* no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.



**Figura 3.10** - Percentagens de germinação e inibição de *Sinapis alba*, no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.



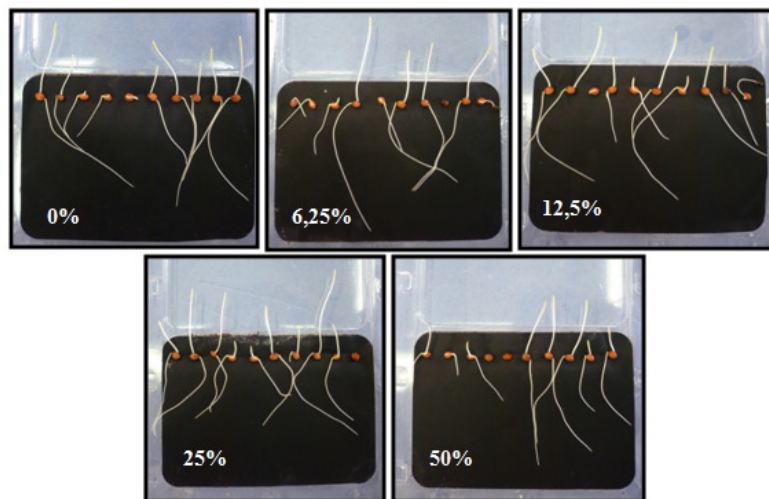
**Figura 3.11** - Percentagens de germinação e inibição da mistura de relva no ensaio em placa, com areia, e utilizando o efluente da ETAR da ETVO na rega.

Conclui-se assim que o efluente da ETAR da ETVO favoreceu a germinação das espécies vegetais ensaiadas quando foi utilizado em concentrações inferiores ou iguais a 5% (v/v), mas causou a inibição total da germinação, em todas as espécies utilizadas no ensaio, quando foi aplicado em concentrações de 75% e 100% (v/v).

### **3.5. Ensaio de germinação em “Phytotoxkit” com utilização de solo padrão**

Atendendo ao facto de nos ensaios anteriores não se ter verificado a ocorrência de germinações nas placas regadas com 75% e 100% do efluente, optou-se por se testar uma gama mais estreita de concentrações no ensaio realizado com “Phytotoxkit”. Assim, foram utilizadas, neste ensaio, percentagens de 0%, 6,25%, 12,5%, 25% e 50% (v/v) do efluente.

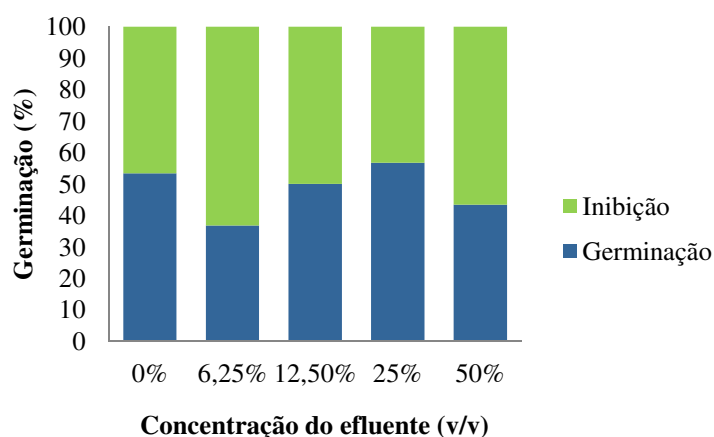
Na Figura 3.12 pode ser observado um dos triplicados do ensaio de germinação de *Sorghum saccharatum*, associado a cada uma das concentrações de efluente aplicado.



**Figura 3.12** – Ensaio de germinação do *Sorghum saccharatum* em “Phytotoxkit” com solo padrão.

Tendo em consideração que o ensaio foi realizado em triplicado, procedeu-se à contagem do número total de sementes germinadas por placa, para cada uma das concentrações de efluente, assim como à medição dos comprimentos dos cotilédones e das raízes. A Figura 3.13 apresenta os valores médios de germinação em função do aumento da percentagem de concentração do efluente utilizado na rega. As variações observadas não foram significativas.

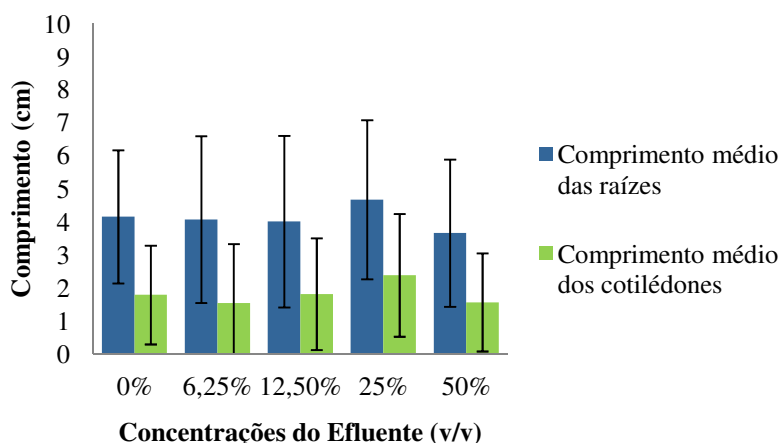
*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*



**Figura 3.13** – Percentagem de germinação e inibição da germinação do *Sorghum saccharatum*, associada a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.

A medição do comprimento dos cotilédones e das raízes serviu para verificar a existência de inibição no crescimento dos mesmos, tendo em consideração as diferentes concentrações de efluente que foram aplicadas.

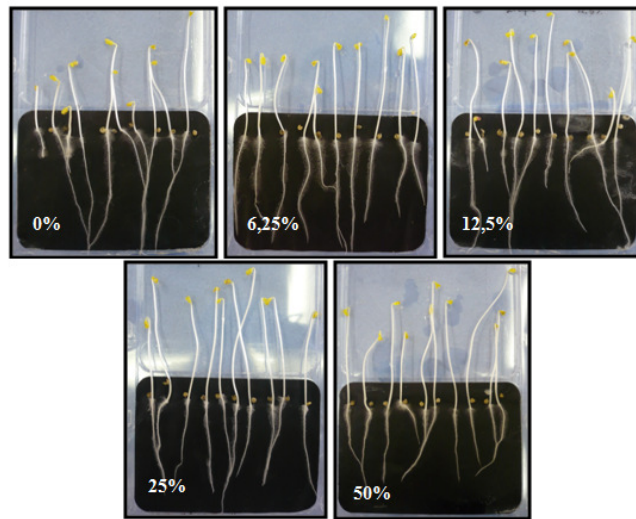
Os resultados obtidos para o *Sorghum saccharatum* são apresentados na Figura 3.14. No caso desta espécie, as raízes e os cotilédones apresentaram um desenvolvimento uniforme, com comprimentos semelhantes, não se tendo verificado resultados significativos de inibição do desenvolvimento das raízes e dos cotilédones.



**Figura 3.14** – Comprimento médio de raízes e cotilédones do *Sorghum saccharatum*, associados a cada concentração de efluente e respectivos desvios padrão, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.

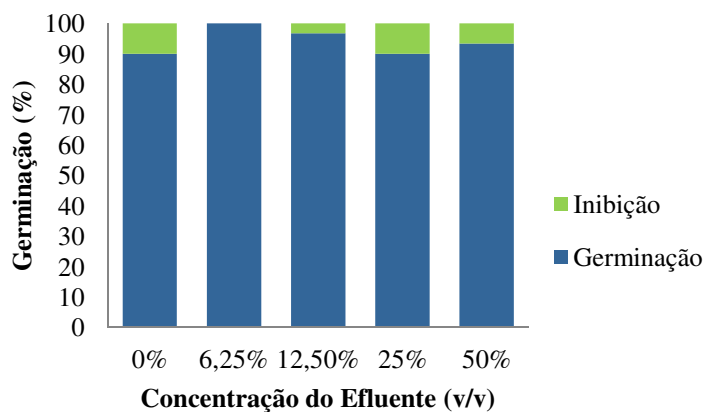
*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

Na Figura 3.15 pode ser observado um dos triplicados do ensaio de germinação da espécie *Sinapis alba*, em função das concentrações de efluente aplicadas.



**Figura 3.15** - Ensaio de germinação do *Sinapis alba* em "Phytotoxkit" com solo padrão.

Através do número total de sementes germinadas durante o tempo do ensaio, foi possível a determinação das taxas de germinação e de inibição associadas à espécie, em função da concentração crescente do efluente aplicado no início do ensaio. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.16, através da qual se pode concluir que ocorreram elevadas percentagens de germinação e consequentemente reduzidas taxas de inibição da germinação.

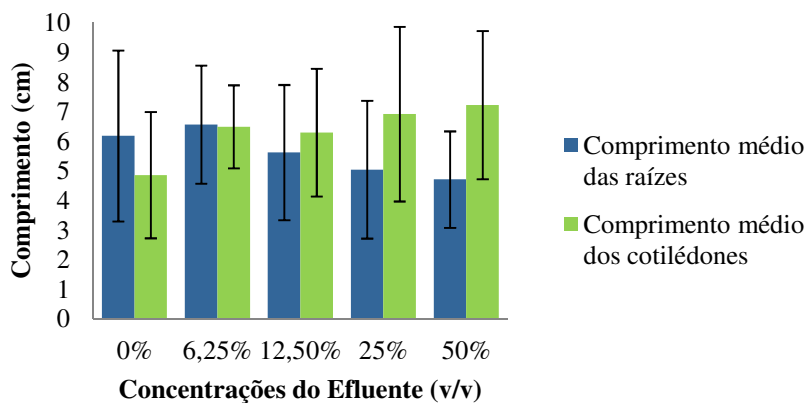


**Figura 3.16** – Percentagem de germinação e inibição da germinação de *Sinapis alba*, associada a cada concentração de efluente, no ensaio em "Phytotoxkit" com solo padrão.



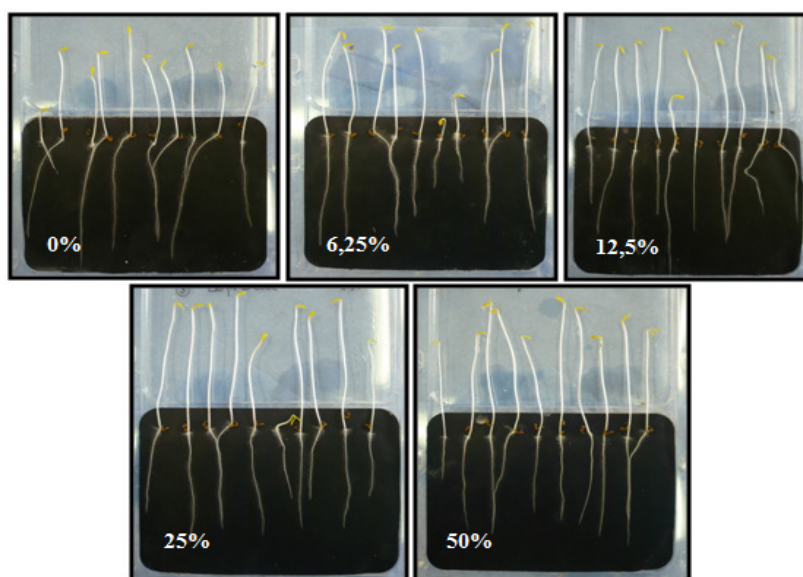
*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

Os resultados obtidos relativamente ao comprimento dos cotilédones e das raízes, podem ser observados na Figura 3.17. Também para esta espécie não se registaram diferenças significativas entre os comprimentos das raízes e dos cotilédones para as diferentes concentrações de efluente.



**Figura 3.17** - Comprimento médio de raízes e cotilédones do *Sinapis alba*, associados a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.

Na Figura 3.18 pode ser observado um dos triplicados do ensaio de germinação da espécie *Lepidium sativum*, em função das diferentes concentrações de efluente aplicadas.

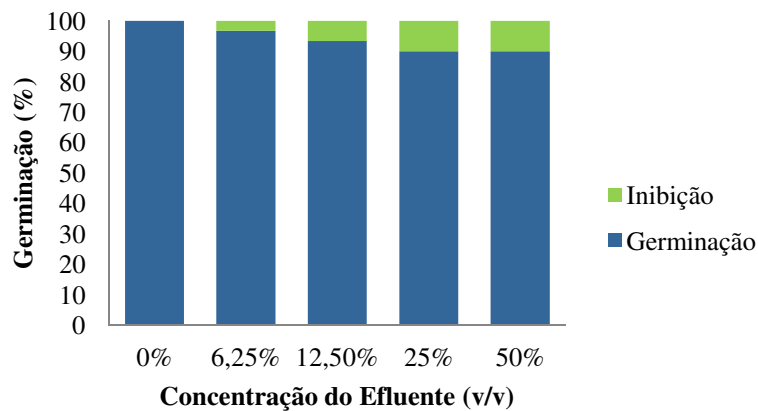


**Figura 3.18** - Ensaio de germinação do *Lepidium sativum* em “Phytotoxkit” com solo padrão.

O número total de sementes germinadas por placa e para cada uma das concentrações do efluente permitiu obter os valores médios de germinação, os quais são apresentados na Figura 3.19. Registou-se a ocorrência de elevadas percentagens de germinação. No entanto, à medida que se aumentou a concentração do efluente, verificou-se uma ligeira diminuição da germinação. Esta

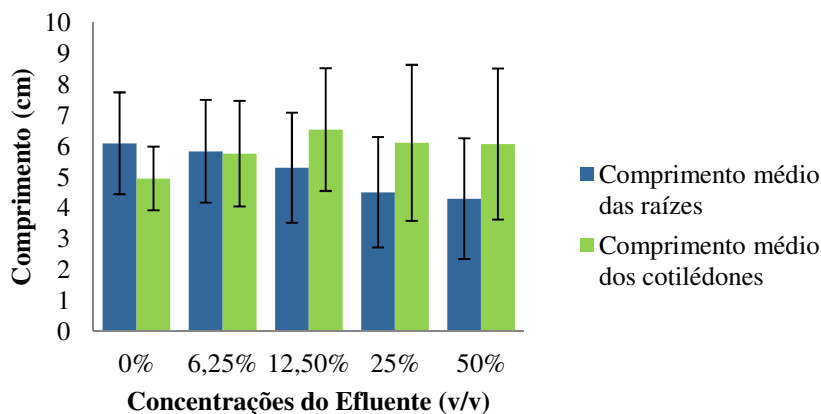
*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

variação, embora não se apresente significativa, pode representar um ligeiro efeito inibidor do efluente na germinação da planta.



**Figura 3.19** – Percentagem de germinação e inibição da germinação do *Lepidium sativum*, associada a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.

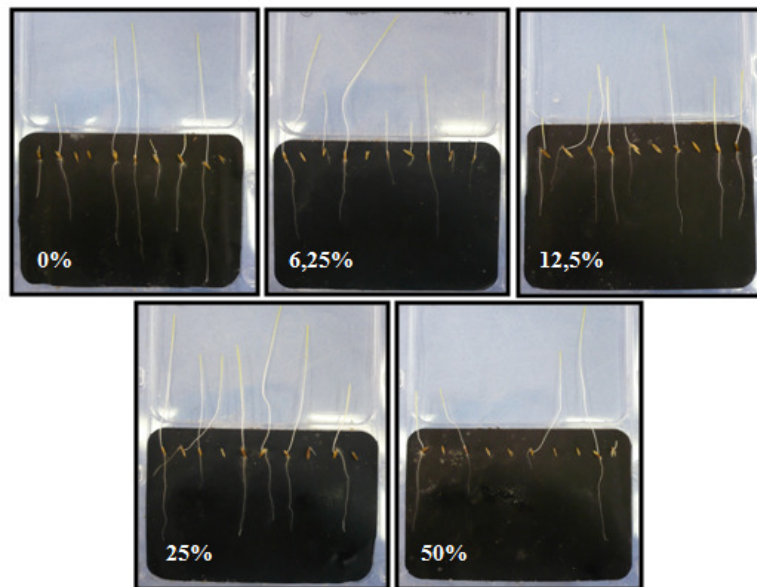
Os comprimentos médios das raízes e dos cotilédones, da espécie *Lepidium sativum*, podem ser observados na Figura 3.20. Não foram registadas diferenças significativas entre o comprimento das raízes e dos cotilédones, em função das diferentes concentrações de efluente aplicadas. Embora não tenha sido significativa, verificou-se uma ligeira diminuição do comprimento das raízes, à medida que foram aplicadas concentrações mais elevadas de efluente. Relativamente aos cotilédones, verificou-se uma uniformidade dos seus comprimentos para as diferentes concentrações de efluente aplicadas.



**Figura 3.20** - Comprimento médio de raízes e cotilédones do *Lepidium sativum*, associados a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.

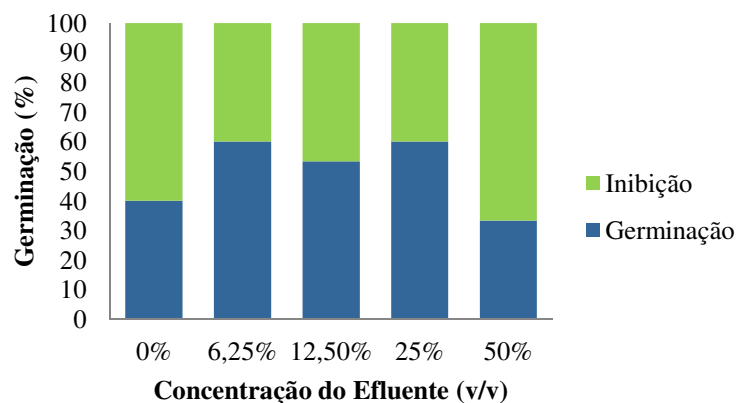
*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

Na Figura 3.21 pode ser observado um dos triplicados do ensaio germinação da mistura de relva, em função das concentrações de efluente aplicadas.



**Figura 3.21** - Ensaio de germinação da relva em "Phytotoxkit" com solo padrão.

Através do número total de sementes germinadas durante o tempo do ensaio, foi possível a determinação das taxas de germinação e de inibição associadas à relva, em função das concentrações crescentes de efluente aplicadas. Os resultados obtidos são apresentados na Figura 3.22. A taxa de germinação mais elevada obtida neste ensaio foi de 60%. Não foram observadas diferenças significativas entre as taxas de germinação da relva para cada uma das concentrações de efluente aplicadas.

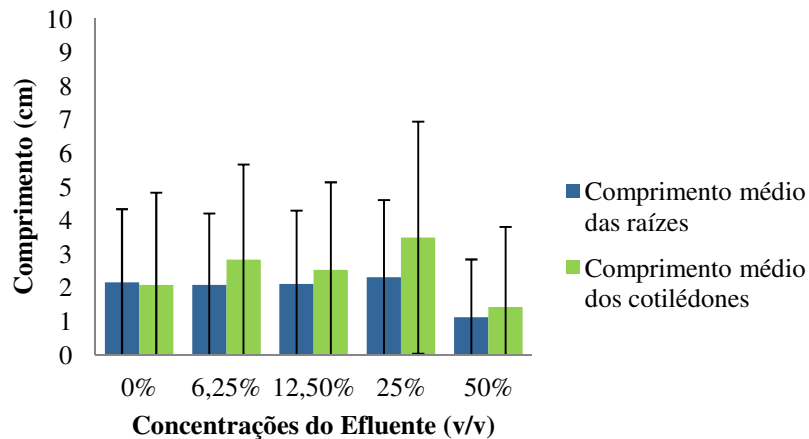


**Figura 3.22-** Percentagem de germinação e inibição da germinação da relva, associada a cada concentração de efluente, no ensaio em "Phytotoxkit" com solo padrão.

Os resultados médios relativos aos comprimentos dos cotilédones e das raízes são apresentados na Figura 3.23. Registou-se um elevado desvio-padrão nos comprimentos obtidos em cada uma das

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

concentrações de efluente aplicadas. No entanto, à medida que foram aplicadas as diferentes concentrações do efluente, não se registaram diferenças significativas entre os comprimentos médios das raízes e dos cotilédones. Contudo, verificou-se apenas uma ligeira inibição do crescimento das raízes e dos cotilédones nas placas onde foi aplicada a concentração de 50% (v/v) do efluente.



**Figura 3.23** – Comprimento médio de raízes e cotilédones da relva, associados a cada concentração de efluente, no ensaio em “Phytotoxkit” com solo padrão.

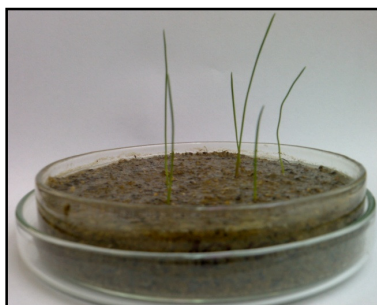
Através dos ensaios em placa, apresentados no ponto 3.4.1, foi possível concluir que o efluente da ETAR da ETVO manifestou um efeito inibidor quando aplicado em concentrações de 75% e 100% (v/v), em todas as espécies vegetais utilizadas no estudo. No entanto, favoreceu a germinação das espécies vegetais ensaiadas quando foi utilizado em concentrações inferiores ou iguais a 5% (v/v). Com a aplicação de efluente com uma concentração de 25% (v/v), foi possível obter taxas de germinação próximas de 50%, com excepção da espécie *Sinapis alba*.

Os ensaios com “Phytotoxkit” permitiram, por outro lado, obter taxas de germinação superiores a 50% inclusivamente quando foi aplicada a concentração de 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO. Contudo, neste ensaio a dotação de rega foi efectuada apenas uma vez (no início do ensaio), contrariamente ao que foi realizado nos ensaios em placa, onde as regas foram efectuadas diariamente com as diversas concentrações do efluente. Esta diferença na dotação de rega entre ensaios contribuiu para a reduzida exposição das sementes aos elementos químicos do efluente, beneficiando assim a germinação e crescimento das mesmas. Este tipo de ensaio com “Phytotoxkit”, permitiu ainda verificar o desenvolvimento dos cotilédones e raízes das espécies vegetais em análise. Tendo-se registado apenas no caso da relva, uma ligeira inibição no comprimento dos cotilédones e das raízes, causada pela aplicação da concentração de 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO.

### 3.6. Ensaio de germinação e crescimento utilizando o solo da ETVO

#### 3.6.1. Ensaio em placa

Este ensaio foi realizado apenas com a mistura de relva, tendo as regas sido efectuadas diariamente, durante 20 dias, com concentrações do efluente da ETAR da ETVO de 0%, 6,25%, 12,5%, 25% e 50% (v/v). A Figura 3.24 apresenta um exemplar do ensaio realizado.



**Figura 3.24** – Ensaio de germinação, com duração de 20 dias, em placa, com relva e com solo da ETVO, no qual foi utilizado o efluente da ETAR da ETVO na concentração de 50% (v/v).

No Quadro 3.9 podem ser observadas as cargas totais de diferentes espécies químicas aplicadas ao solo, em função das diferentes concentrações do efluente. Estas cargas foram calculadas tendo em conta os volumes totais de rega aplicados em cada uma das placas, durante os 20 dias do ensaio.

**Quadro 3.9** – Cargas totais (em kg/ha) aplicadas, durante 20 dias com regas diárias utilizando o efluente da ETAR da ETVO, no ensaio em placa, com a mistura de relva, em solo da ETVO.

| Parâmetro químico                              | 0%    | 6,25% | 12,5% | 25%  | 50%  |
|--|-------|-------|-------|------|------|
| SST (kg/ha)                                    | 0,000 | 2,44  | 4,85  | 9,37 | 19,2 |
| Nitratos (kg NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /ha) | 0,000 | 13,9  | 27,7  | 53,4 | 110  |
| Nitritos (kg NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /ha) | 0,000 | 1,49  | 2,96  | 5,72 | 11,7 |
| Azoto Orgânico (kg N/ha)                       | 0,000 | 6,04  | 12,0  | 23,2 | 47,5 |
| Fósforo Total (kg P/ha)                        | 0,000 | 0,728 | 1,45  | 2,79 | 5,73 |
| Cloretos (kg Cl/ha)                            | 0,000 | 48,0  | 95,3  | 184  | 377  |
| Sulfatos (kg SO <sub>4</sub> /ha)              | 0,000 | 5,30  | 10,5  | 20,3 | 41,7 |
| Sódio (kg Na/ha)                               | 0,000 | 4,33  | 8,61  | 16,6 | 34,1 |

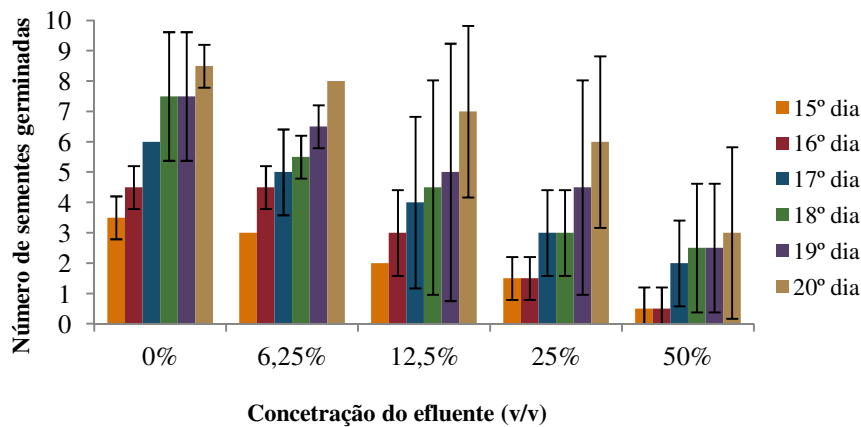
As cargas de metais pesados aplicadas ao solo, através das regas diárias durante o período de ensaio de 20 dias, são apresentadas no Quadro 3.10. Os valores apresentados, são expressos em kg/(ha/ano) para que seja possível a comparação com os valores apresentados no Quadro 1.6, que é relativo às quantidades de metais que podem ser introduzidos nos solos por ano. Assim, através da comparação dos Quadros 1.6 e 3.10, conclui-se que, à excepção do cádmio, nenhum dos metais ultrapassou os valores permitidos. Nas placas regadas com 25% e 50% de efluente, registaram-se valores de cádmio superiores ao valor permitido (0,15 kg Cd/(ha.ano)).

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**

**Quadro 3.10** – Cargas totais de metais pesados aplicados ao solo através das regas sucessivas utilizando o efluente da ETAR da ETVO, no ensaio em placa.

| Metais                           | 0%    | 6,25% | 12,5% | 25%   | 50%   |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Cádmio (kg Cd/(ha.ano))</b>   | 0,000 | 0,062 | 0,123 | 0,238 | 0,488 |
| <b>Chumbo (kg Pb/(ha.ano))</b>   | 0,000 | 0,080 | 0,158 | 0,305 | 0,626 |
| <b>Cobre (kg Cu/(ha.ano))</b>    | 0,000 | 0,044 | 0,086 | 0,167 | 0,342 |
| <b>Crómio (kg Cr/(ha.ano))</b>   | 0,000 | 0,040 | 0,079 | 0,153 | 0,313 |
| <b>Mercúrio (kg Hg/(ha.ano))</b> | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,008 |
| <b>Níquel (kg Ni/(ha.ano))</b>   | 0,000 | 0,050 | 0,100 | 0,192 | 0,394 |
| <b>Zinco (kg Zn/(ha.ano))</b>    | 0,000 | 0,037 | 0,074 | 0,144 | 0,295 |

Ao longo do ensaio foram efectuadas contagens diárias do número de sementes germinadas. Através da Figura 3.25 pode-se verificar a evolução da germinação ao longo dos 20 dias de ensaio.

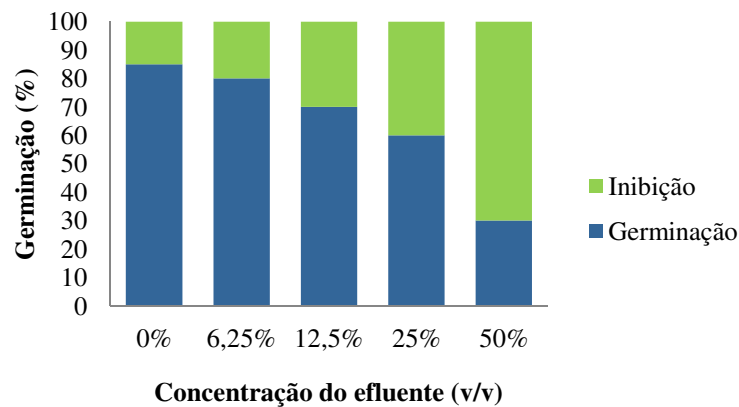


**Figura 3.25** – Evolução do ensaio de germinação da relva, em placa com solo da ETVO e utilizando o efluente da ETAR da ETVO para se efectuar a rega.

Tendo em conta a Figura 3.25, representativa da evolução da germinação da relva, em placa com solo da ETVO, e observando a Figura 3.26 que apresenta as percentagens de germinação e de inibição associadas às diferentes concentrações de efluente que foram aplicadas, conclui-se que ocorreu nitidamente um efeito inibidor da germinação da mistura de relva com o aumento das concentrações aplicadas do efluente da ETAR da ETVO. Este facto é demonstrado pelo aumento da taxa de inibição e consequente diminuição da taxa de germinação, à medida que foram aplicadas concentrações mais elevadas do efluente.

Como se pode observar na Figura 3.26, com a aplicação da concentração de 0% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO, a taxa de germinação obtida foi de aproximadamente 85%, enquanto que com a aplicação da concentração de 50% (v/v) daquele efluente, a taxa de germinação foi de apenas 30%.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

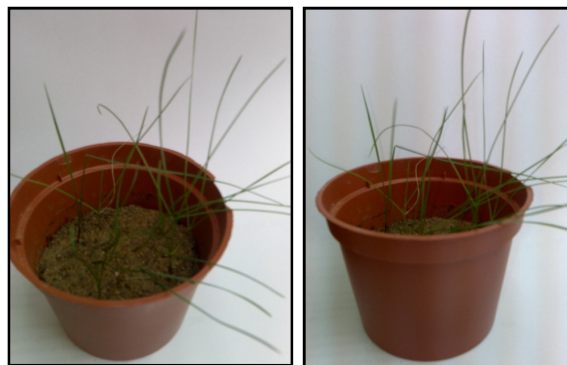


**Figura 3.26** - Percentagens de germinação e inibição da mistura de relva, associadas às diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas na rega em placa.

O facto de o ensaio ter sido realizado em placa pode ter condicionado o surgimento de efeitos inibidores mais intensos do que aos que seriam eventualmente observados se o ensaio tivesse decorrido em vaso. Esta suposição advém do facto das placas acumularem todo o efluente que nelas é introduzido, uma vez que não dispõem de nenhum sistema de drenagem do excesso de água de rega aplicada. Deste modo, é de supor que a acumulação de sais e elementos tóxicos seja tendencialmente maior neste tipo de ensaio do que nos ensaios em vaso, o que poderá causar um aumento dos efeitos inibidores, nomeadamente da inibição da taxa de germinação. Com o objectivo de se testar esta hipótese e de se avaliar a acumulação de diferentes espécies no solo e na mistura de relva, realizou-se um ensaio de crescimento em vaso.

### 3.6.2. Ensaio em vaso

A vantagem principal da utilização de vasos nos ensaios de crescimento de plantas, comparativamente aos ensaios em placa, resulta da existência de orifícios na parte inferior no vaso, permitindo o escoamento do eventual excesso da água de rega. A Figura 3.27 apresenta um exemplar do ensaio realizado em vaso.



**Figura 3.27** - Ensaio de germinação com relva, em vaso, no solo da ETVO, após 30 dias de germinação e regas diárias com o efluente da ETAR da ETVO com uma concentração de 25% (v/v).

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**

No Quadro 3.11 são apresentadas as massas totais, de diferentes espécies químicas, aplicadas no solo, em função das diferentes concentrações do efluente. As massas totais foram obtidas através dos volumes totais de rega aplicados em cada uma das placas, durante os 30 dias do ensaio.

**Quadro 3.11** - Cargas totais (em kg/ha) aplicadas, durante 30 dias com regas diárias utilizando o efluente da ETAR da ETVO, no ensaio em vaso, com relva em solo da ETVO.

| Parâmetro químico                 | 0%    | 6,25% | 12,5% | 25%  | 50%  |
|-----------------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| SST (kg/ha)                       | 0,000 | 3,67  | 7,33  | 14,6 | 29,4 |
| Nitratos (kg NO <sub>3</sub> /ha) | 0,000 | 20,9  | 41,8  | 83,0 | 168  |
| Nitritos (kg NO <sub>2</sub> /ha) | 0,000 | 2,24  | 4,47  | 8,89 | 18,0 |
| Azoto Orgânico (kg N/ha)          | 0,000 | 9,07  | 18,1  | 36,0 | 72,8 |
| Fósforo Total (kg P/ha)           | 0,000 | 1,09  | 2,18  | 4,34 | 8,77 |
| Cloretos (kg Cl/ha)               | 0,000 | 72,0  | 144   | 286  | 578  |
| Sulfatos (kg SO <sub>4</sub> /ha) | 0,000 | 7,95  | 15,9  | 31,6 | 63,8 |
| Sódio (kg Na/ha)                  | 0,000 | 6,50  | 13,0  | 25,8 | 52,2 |

Atendendo aos volumes aplicados de efluente na rega, foi possível determinar-se a quantidade de metais pesados aplicados no solo, durante os 30 dias do ensaio em vaso, para um ano (Quadro 3.12). Foi assim possível comparar-se o Quadro 3.12 com os valores apresentados no Quadro 1.6 relativo às quantidades de metais pesados que podem ser introduzidos nos solos, por ano. Tal como já havia sido registado no ensaio em placa, à excepção do cádmio, nenhum dos valores de metais ultrapassou os valores permitidos na legislação. A aplicação das concentrações de 25% e 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO na rega em vaso originaram a aplicação de uma carga de cádmio superior ao limite máximo permitido (0,15 kg Cd/(ha.ano)).

**Quadro 3.12** - Quantidade de metais pesados aplicados no solo através das sucessivas regas em vaso.

| Metais                    | 0%    | 6,25% | 12,5% | 25%   | 50%   |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Cádmio (kg Cd/(ha.ano))   | 0,000 | 0,062 | 0,124 | 0,247 | 0,498 |
| Chumbo (kg Pb/(ha.ano))   | 0,000 | 0,080 | 0,159 | 0,316 | 0,639 |
| Cobre (kg Cu/(ha.ano))    | 0,000 | 0,033 | 0,065 | 0,130 | 0,262 |
| Crómio (kg Cr/(ha.ano))   | 0,000 | 0,040 | 0,080 | 0,158 | 0,320 |
| Mercúrio (kg Hg/(ha.ano)) | 0,000 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,008 |
| Níquel (kg Ni/(ha.ano))   | 0,000 | 0,050 | 0,100 | 0,199 | 0,403 |
| Zinco (kg Zn/(ha.ano))    | 0,000 | 0,038 | 0,075 | 0,149 | 0,301 |

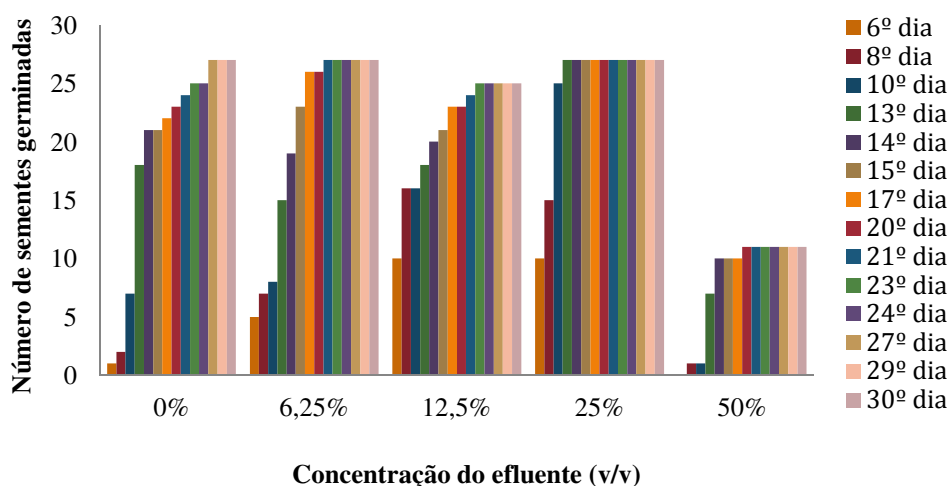


*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
**Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**

Na Figura 3.28 apresenta-se a evolução da germinação da relva em vaso, com o solo da ETVO, ao longo dos 30 dias do ensaio. As primeiras germinações foram registadas no 6º dia do ensaio, com excepção dos vasos regados com uma concentração de 50% (v/v) do efluente, onde a germinação se registou somente no 8º dia.

Verificou-se que nos vasos regados com 0% (v/v) de efluente, a germinação das sementes terminou no 27º dia, enquanto nos vasos regados com 6,25%, 12,5% e 50% (v/v) a última germinação ocorreu entre o 20º e 23º dias do ensaio. Por outro lado, nos vasos regados com uma concentração de 25% (v/v) do efluente, não se verificaram germinações a partir do 13º dia, mantendo-se constante o número de plantas até ao final do ensaio.

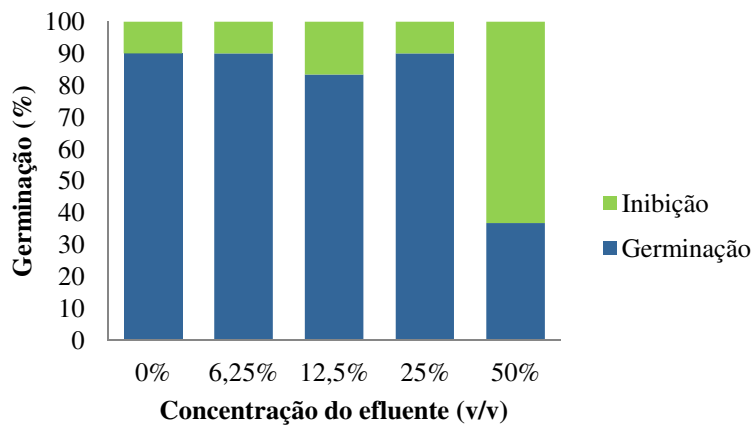
Num total de 30 sementes de relva para cada uma das concentrações do efluente, germinaram entre 25 a 28 sementes, com excepção dos vasos onde foi aplicada rega com uma concentração de 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO, onde germinaram apenas 11 sementes.



**Figura 3.28** – Evolução do ensaio de germinação da relva, em vaso, com solo da ETVO e tendo-se utilizado o efluente tratado da ETAR da ETVO na rega.

A Figura 3.29 apresenta as percentagens de germinação e inibição, em função das diferentes concentrações de efluente aplicadas na rega em vaso. Registaram-se taxas de germinação entre os 80% e os 90% quando foram aplicadas concentrações do efluente entre os 0% e os 25% (v/v). No ensaio em que se procedeu à aplicação diária de uma concentração de 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO, a taxa de germinação obtida foi de aproximadamente 35%.

**Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul**



**Figura 3.29** – Percentagens de germinação e inibição da mistura de relva, associadas às diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO aplicadas na rega em vaso.

Comparando os resultados apresentados nas Figura 3.26 e Figura 3.29, representativas das taxas de germinação e inibição da relva em placa e em vaso, respectivamente, pode-se concluir que o ensaio realizado em vaso permitiu obter percentagens de germinação da relva mais elevadas. Contudo, os resultados obtidos com a aplicação da concentração de 50% (v/v) do efluente não apresentaram diferenças significativas entre o ensaio em vaso e o ensaio em placa, tendo-se obtido taxas de germinação reduzidas, em torno dos 35%.

No Quadro 3.13 são apresentadas as massas totais produzidas, de biomassa seca, em função das diferentes concentrações do efluente aplicado. Verificaram-se algumas diferenças entre as várias concentrações do efluente aplicado, tendo sido a maior produção de biomassa obtida quando foi aplicada a concentração de 25% (v/v). A menor produção de biomassa seca foi registada nos vasos em que foi aplicada a concentração de 50% (v/v) do efluente.

**Quadro 3.13** – Quantidade de biomassa seca produzida através do ensaio em vaso, durante 30 dias.

| Concentração do efluente (v/v) | Biomassa Total (raiz+parte aérea) (kg/(ha.ano) b.s.) |
|--------------------------------|--|
| 0%                             | 12705  |
| 6,25%                          | 12839  |
| 12,50%                         | 17737  |
| 25%                            | 29083  |
| 50%                            | 5278   |

Sousa (2009) verificou que a rega com água residual urbana tratada (100% (v/v)) beneficiou a produção da relva, traduzindo-se num acréscimo de produção, comparativamente à irrigação com água da rede pública. Também Azevedo *et al.* (2007) verificaram, em dois ensaios biológicos, onde foram utilizados dois tipos de solo, a ocorrência de acréscimos significativos (37%) na produção de

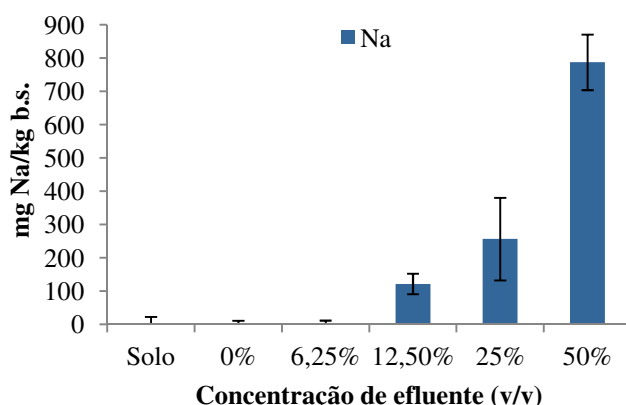
matéria seca da relva, quando regada com água residual tratada de origem urbana, com uma concentração de 100% (v/v), comparativamente à regada com água da rede pública. No presente estudo, foi detectada uma redução significativa (82% (m/m)) na produção de biomassa seca da relva, quando aplicado 50% (v/v) do efluente, comparativamente ao obtido quando aplicado 25% (v/v) do efluente. Mas foram observados acréscimos de produção de biomassa seca do ensaio em branco para o ensaio em que se testou uma concentração de efluente de 12,5% (v/v) na ordem de 28% (m/m) e do ensaio em branco para o ensaio em que se ensaiou uma concentração do efluente de 25% na ordem de 56% (m/m).

### **3.7. Caracterização química do solo após o ensaio de germinação de relva em vaso**

Terminado o ensaio com relva em vasos, onde foram efectuadas regas diárias com diferentes diluições do efluente, foram analisadas as características do solo de forma a avaliar a presença de fósforo e a ocorrência de acumulação de algumas espécies químicas, como cloretos, sódio e metais pesados. Segundo Ayers e Westcot (1985) e os autores Santos (2001) e Marecos do Monte e Albuquerque (2010), estes são elementos que, quando presentes em excesso no solo, podem causar problemas de toxicidade, assim como problemas na germinação e crescimento das plantas.

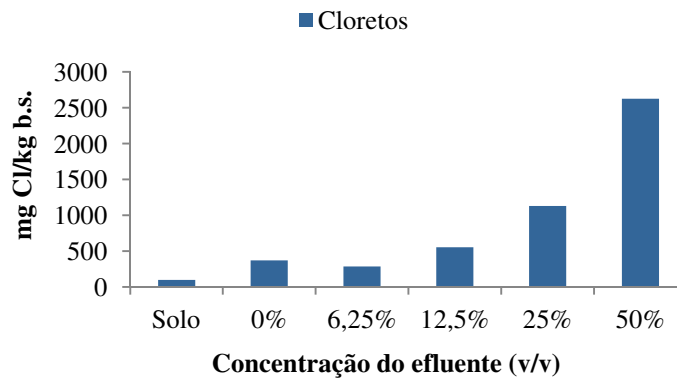
As Figuras 3.30 e 3.31 apresentam os teores de sódio e cloretos, respectivamente, no solo após as regas diárias durante 30 dias, com diluições de 0%, 6,25%, 12,5%, 25% e 50% (v/v), comparativamente aos teores que foram detectados no solo no início do ensaio (designado por “Solo”).

Observou-se o aumento dos teores de Na e Cl<sup>-</sup> com o aumento das concentrações de efluente. A presença de sais no solo regado com 25% e 50% (v/v) do efluente foi bastante superior ao que existia antes do início do ensaio.



**Figura 3.30** – Concentrações de Sódio no solo antes do ensaio de crescimento em vaso e após a rega diária com concentrações crescentes do efluente da ETAR da ETVO, ao longo de 30 dias de ensaio.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*



**Figura 3.31** – Concentrações de Cloretos no solo antes do ensaio de crescimento em vaso e após a rega diária com concentrações crescentes do efluente da ETAR da ETVO, ao longo de 30 dias de ensaio.

Conclui-se, através dos resultados apresentados na Figura 3.29, relativos à inibição da germinação, e através das Figuras 3.30 e 3.31 referentes aos teores de Na e cloretos verificados no solo após as sucessivas irrigações, que houve um aumento de salinidade no solo, devido ao elevado teor de sais presentes na água residual tratada.

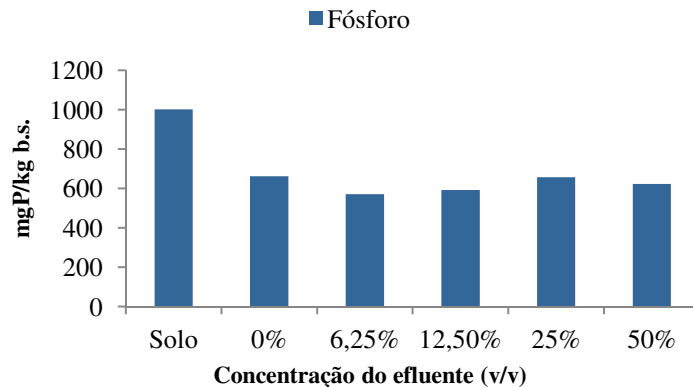
Ayers e Westcot (1985), Stagnitti *et al.* (1998), Horta-Monteiro (1994) e Marecos do Monte e Albuquerque (2010), referem igualmente que a presença de elevadas quantidades de sais na água residual tratada, conduz a aumentos de salinidade no solo. Evanylo *et al.* (2010) verificaram igualmente a acumulação de Na no solo, após as irrigações com água residual tratada de origem urbana.

Durante o decurso do ensaio em vaso, os vasos onde a rega foi efectuada com uma concentração de 50% (v/v) do efluente, para além de se ter verificado uma reduzida germinação, registou-se ainda que a camada superficial do solo se apresentava mais dura e que a infiltração do efluente decorria mais lentamente. Este facto deveu-se à elevada concentração de sais presentes no efluente, e como tal, ao serem aplicados no solo em maiores quantidades, levou a que se acumulassem na superfície do mesmo, reduzindo a sua permeabilidade. Estudos realizados por Horta-Monteiro *et al.* (1995), Neylan (2002), Mohammad e Mazahreh (2003) e Belden e Panter (2005) revelaram que a elevada salinidade da água residual provocou igualmente um aumento de sais no solo, levando consequentemente a uma maior dificuldade de extracção de água do solo por parte da planta.

Quanto à presença de fósforo total no solo (Figura 3.32), não se verificaram variações relevantes entre as diferentes concentrações do efluente aplicadas na rega. Comparativamente ao que existia previamente no solo, verificou-se uma diminuição da sua concentração após as irrigações. Sendo este um elemento de reduzida mobilidade no solo, a sua aplicação em excesso não causa, em geral, efeitos negativos na planta, porque estas apenas absorvem as quantidades de fósforo que lhes são

necessárias. Perante os resultados obtidos (Figura 3.32), verificou-se algum consumo de fósforo por parte da planta.

Tesar *et al.* (1982) verificaram que a maior parte do fósforo presente na água residual urbana tratada, quando aplicado no solo durante 5 anos através das irrigações, não foi removido pelas plantas, tendo permanecido na camada superficial do solo. Evanylo *et al.* (2010) verificaram, igualmente o aumento da concentração de fósforo no solo após as irrigações.



**Figura 3.32** - Concentrações de Fósforo total no solo antes do ensaio de crescimento em vaso e após a rega diária com concentrações crescentes do efluente da ETAR da ETVO, ao longo de 30 dias de ensaio.

Na Figura 3.33 são apresentados os metais detectados no solo, após as sucessivas regas com as diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO. Sendo o ferro, o zinco, o cobre e o alumínio elementos necessários ao desenvolvimento das plantas, embora em quantidades reduzidas (Santos, 2001; Marecos do Monte e Albuquerque, 2010), verificou-se a ocorrência de uma diminuição das suas concentrações, comparativamente ao que foi detectado no solo previamente às irrigações. Este facto poderá representar a absorção dos mesmos por parte da planta.

No caso específico do cobre, verificou-se a sua acumulação no solo regado com as concentrações de 25% e 50% (v/v). Tomando como referência os resultados obtidos previamente à rega, concluiu-se que até uma concentração de 12,5% (v/v) do efluente, a presença de cobre no solo não apresentou variações significativas. Contudo, o aumento do cobre foi nitidamente observado nos solos regados com concentrações de 25% e 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO. O mesmo se verificou para o potássio, pois sendo um elemento necessário ao desenvolvimento da planta, registou-se que até à aplicação da concentração de 25% (v/v) de efluente, a planta absorveu o potássio pré-existente no solo, assim como o que foi aplicado na rega. Quando foi aplicado 50% (v/v) do efluente tratado, registaram-se teores mais elevados comparativamente aos teores registados com 25% (v/v) do efluente. Este aumento pode significar um excesso de potássio no solo, não sendo por isso absorvido pela planta.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

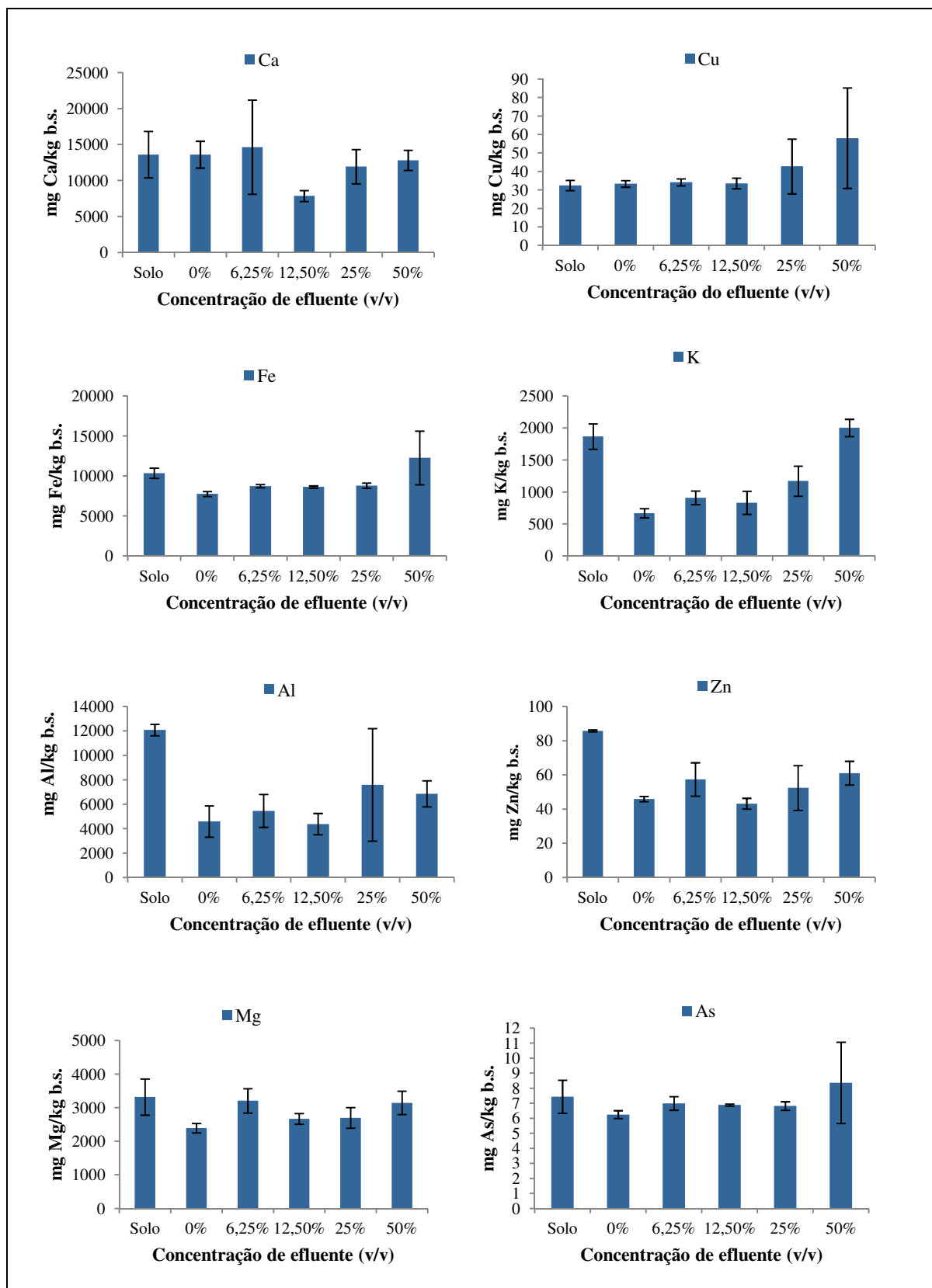
Quanto às concentrações de Mg e Zn no solo, não foram registadas alterações significativas provocadas pelas regas diárias. Relativamente ao Fe, registaram-se teores mais elevados quando foram aplicados 50% (v/v) do efluente na rega, comparativamente à rega com concentrações de efluente inferior a 25% (v/v).

Mohammad e Mazahreh (2003) verificaram, nos seus estudos, que as concentrações de Mg e Zn no solo não foram afectadas significativamente pelas irrigações com água residual urbana tratada, realizadas duas vezes por semana durante 3 meses. Contrariamente, Azevedo *et al.* (2007), verificaram acréscimos significativos de Mg no solo, após a aplicação de efluente tratado de origem urbana, comparativamente à aplicação de água da rede pública. Por outro lado, no estudo de Mohammad e Mazahreh (2003) foram registados aumentos das concentrações de Fe e Mn no solo.

Com a aplicação da concentração de 50% (v/v) do efluente, as espécies químicas (Na, Cloretos, Cu, Fe, K) passaram a estar em maior quantidade no solo e, como tal, mais susceptíveis de causarem problemas no crescimento da planta. A quantidade aplicada destas espécies químicas foi bastante elevada, reflectindo-se tanto na reduzida germinação da planta, como nas elevadas concentrações das mesmas, registadas no solo após as irrigações.

Segundo Vazquezmontiel *et al.* (1996), os metais pesados tendem a aumentar no solo à medida que aumenta o número de anos de irrigação com águas residuais. Assim, o facto de o presente ensaio ter sido realizado em apenas 30 dias, pode ser justificativo para que não se tenham registado alterações significativas de metais pesados no solo.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*



**Figura 3.33** – Presença de metais no solo da ETVO, antes e depois das sucessivas irrigações com as diferentes concentrações de efluente tratado da ETAR da ETVO, no ensaio de crescimento em vaso da mistura de relva.

### **3.8. Caracterização química da relva após o ensaio de germinação em vaso com o solo da ETVO**

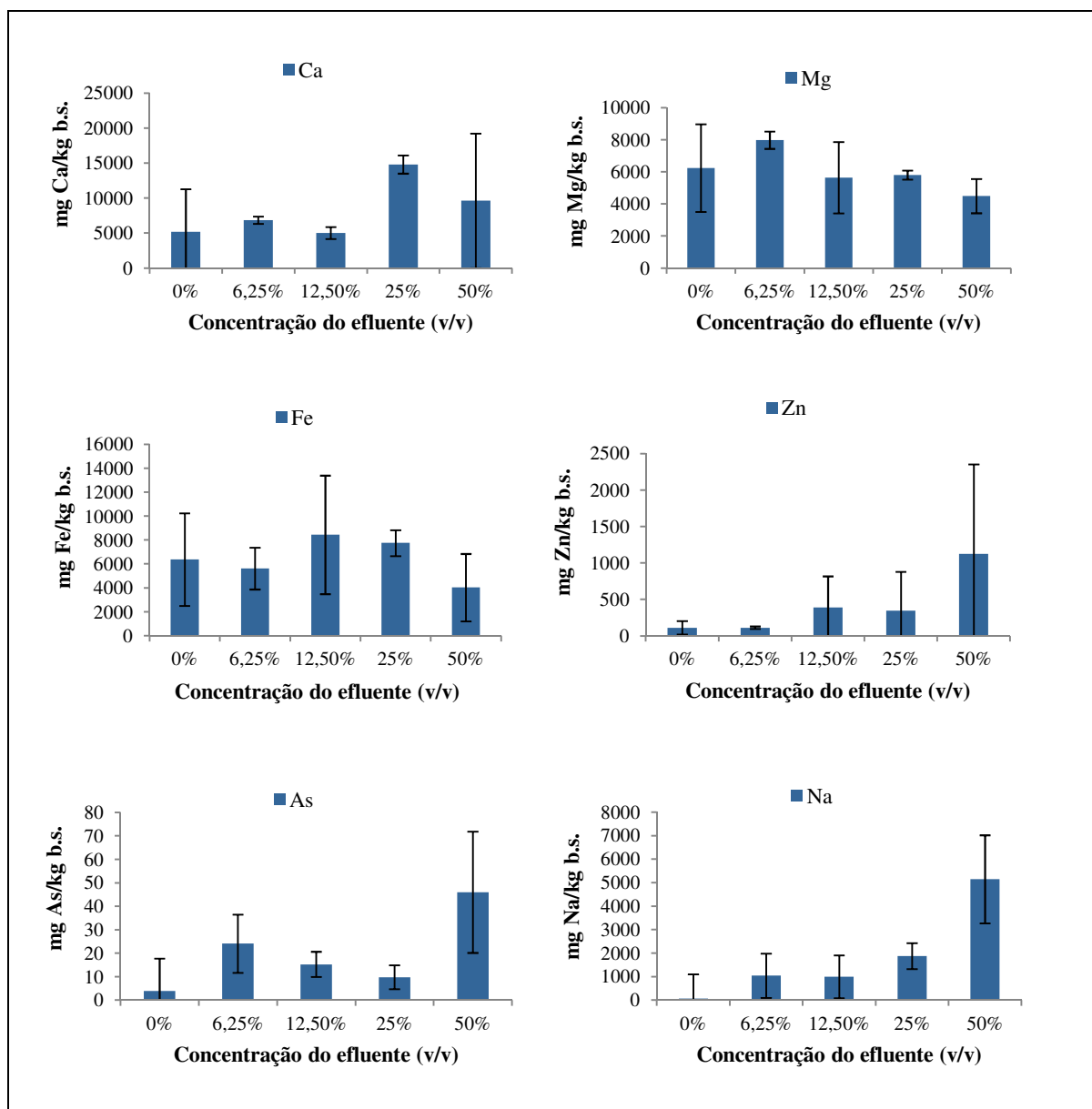
Na Figura 3.34 são apresentadas as concentrações de alguns metais que foram quantificados na relva (parte aérea + raízes), após os 30 dias de duração do ensaio de crescimento em vaso. As concentrações de Na, As e Zn na relva regada com 50% (v/v) do efluente tratado da ETAR da ETVO foram superiores às concentrações determinadas na relva regada com a concentração de 0% (v/v) do efluente. A absorção destes elementos na planta pode estar na origem da baixa taxa de germinação da relva que foi regada com a concentração de 50% (v/v) de efluente. Elementos como o Ca, o Mg e o Fe, apesar de detectados na planta, não apresentaram variações significativas entre a biomassa que foi regada com as diferentes concentrações do efluente.

Harivandi *et al.* (1992) estudaram a tolerância da relva à salinidade e verificaram que a rega com água residual urbana tratada, com elevada salinidade levou a um aumento de iões salinos no tecido da relva, resultando numa diminuição do crescimento da mesma. Os mesmos autores verificaram ainda que a irrigação com o efluente tratado não aumentou significativamente a absorção de potássio por parte da relva. Por outro lado, Kingery *et al.* (1993) constataram que, a longo prazo, a aplicação de águas residuais urbanas em pastagens de *Festuca* aumentou a concentração de potássio na planta. Porém, na presente dissertação, registou-se um aumento de Na na planta, em função da concentração de efluente da ETAR da ETVO aplicado na rega. Verificando-se teores de Na mais elevados, quando aplicado 50% (v/v) do efluente, comparativamente a quando foi efectuada rega com 0% (v/v) do efluente. A presença de potássio não foi detectada na biomassa irrigada com as diferentes concentrações de efluente em estudo.

Num estudo realizado com azevém, Horta-Monteiro *et al.* (1995) verificaram que a rega com água residual urbana tratada conduziu a um aumento do teor de Mg na planta, devido certamente ao conteúdo deste elemento na água residual. Verificaram ainda que o teor de sódio na planta foi significativamente mais elevado do que nas plantas regadas com água desionizada. Relativamente ao Mg, na presente dissertação, não foram registados acumulações significativas, derivadas às regas com diferentes concentrações de efluente da ETAR da ETVO.



*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*



**Figura 3.34** – Presença de metais na mistura de relva após as sucessivas irrigações com as diferentes concentrações do efluente da ETAR da ETVO, no ensaio de crescimento em vaso com o solo da ETVO.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

#### **4. Conclusões**

Os resultados obtidos na presente dissertação permitem concluir o seguinte:

- Em termos qualitativos, o efluente tratado da ETAR da ETVO apresentou algumas espécies químicas com teores consideravelmente superiores aos máximos legalmente recomendados para rega, nomeadamente os nitratos, os cloretos e a CE. Ao invés, os metais pesados apresentaram teores inferiores aos recomendados para rega.
- De acordo com os resultados obtidos nos ensaios de germinação em areia, o efluente tratado da ETAR da ETVO manifestou um efeito inibidor quando aplicado em concentrações de 75% e 100% (v/v), em todas as espécies vegetais utilizadas no estudo. O efeito foi visível através da ausência de germinação das sementes dessas espécies vegetais, comparativamente à rega com 0% de efluente.
- Nos ensaios em “Phytotoxkit” foram obtidas taxas de germinação superiores a 50%, inclusivamente quando foi aplicada a concentração de 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO. Contudo, é de notar que neste ensaio a dotação de rega foi efectuada apenas uma vez (no início do ensaio), contrariamente ao que foi realizado nos ensaios em placa e em vaso, onde as regas foram efectuadas diariamente com as diversas concentrações do efluente. Esta diferença na dotação de rega entre ensaios contribuiu para a reduzida exposição das sementes aos elementos químicos do efluente no ensaio em “Phytotoxkit”, beneficiando assim a germinação e crescimento das mesmas. O comprimento de cotilédones e raízes foi uniforme para as espécies de *Sorghum saccharatum*, *Sinapis alba* e *Lepidium sativum*. No caso da relva, verificou-se uma ligeira inibição no comprimento dos cotilédones e das raízes, causada pela aplicação da concentração de 50% (v/v) do efluente da ETAR da ETVO.
- Os ensaios com relva e com solo da ETVO permitiram uma maior aproximação às condições reais de uma eventual aplicação do efluente tratado da ETAR na rega dos espaços ajardinados. Foram obtidas taxas de germinação superiores a 50%, nos ensaios em placa, e superiores a 80%, nos ensaios em vaso, quando se procedeu a regas com concentrações do efluente até 25% (v/v). Foram obtidas taxas de germinação de aproximadamente 30%, nos ensaios em placa e em vaso com o solo da ETVO, quando se procedeu a irrigações com 50% (v/v) do efluente.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

- Os resultados obtidos no ensaio em vaso com o solo da ETVO revelaram que a aplicação contínua de uma concentração de 50% (v/v) do efluente conduziu à acumulação, no solo, de espécies químicas como sódio, cloretos, cobre, ferro e arsénio. Na biomassa da mistura de relva, os resultados obtidos indicaram a ocorrência da acumulação de metais como o sódio, o zinco e o arsénio, para a mesma concentração de efluente.
- A gestão do efluente tratado da ETAR da ETVO pode ser encarada numa óptica de reutilização para rega de espaços verdes, na área envolvente às instalações, se aplicado segundo os resultados obtidos, isto é, numa concentração inferior a 25% (v/v) do mesmo.
- Dado que a composição química do efluente tratado causou efeitos inibidores na germinação da relva e a acumulação de diversas espécies químicas no solo e na biomassa da mistura de relva, a sua utilização como água de rega deverá obedecer a uma gestão ponderada. A gestão adequada da irrigação com esta água residual tratada, a monitorização periódica da sua qualidade, do solo e da biomassa, são acções fundamentais para garantir uma reutilização do efluente tratado, a longo prazo e de forma bem sucedida.

Considera-se que os objectivos do trabalho, inicialmente definidos, foram alcançados, permitindo os resultados obtidos sistematizar informação sobre o potencial de reutilização do efluente tratado da ETAR da ETVO.

## **5. Propostas de Trabalho Futuro**

Após a realização da presente dissertação, verificou-se a necessidade de realização de ensaios com um período de tempo mais alargado, de forma a verificar quais os efeitos, a longo prazo, do efluente da ETAR da ETVO, no crescimento da relva e na acumulação de espécies químicas no solo.

O sistema de rega simulado na presente dissertação foi o de gota-a-gota. No entanto, o sistema de rega existente nas instalações da ETVO é por aspersão. Tratando-se de um efluente bastante salinizado, a sua aplicação por aspersão poderá provocar lesões na parte aérea da planta, pois é um sistema de rega onde o efluente entra em contacto directo com a planta. Assim, propõe-se a realização de ensaios com este sistema de rega, para verificar qual a resposta da relva ao contacto com o efluente.

A presença de SST no efluente poderá provocar o entupimento do sistema de rega, por deposição de sólidos. Seria assim importante a realização de um estudo para verificar se o efluente comprometerá o bom funcionamento do sistema de rega.

Propõe-se também, a realização de ensaios à escala real, ou seja, ensaios de crescimento com o efluente nos espaços verdes da ETVO, em condições naturais, para verificação de resultados.

Por último, propõe-se a realização de um estudo para verificação da existência de aquíferos importantes na região, que possam correr riscos de contaminação devido às irrigações com o efluente da ETAR da ETVO.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

## **6. Referências Bibliográficas**

- APHA/AWWA/WEF (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association (ed.), 21<sup>st</sup> Edition, USA.
- Asano, T. (1998) *Wastewater Reclamation and Reuse*. Water Quality Management Library Volume 10, Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, PA, pp. 23-46.
- Asano, T. (2001) Water From (Waste) Water - The Dependable Water Resource. *Stockholm Water Prize Laureate Lecture*, delivered at the 11th Stockholm Water Symposium, August 12-18, Stockholm, Sweden, 13 pp.
- Asano, T.; Burton, H.; Tsuchihashi; Tchobanoglous, G. (2007) *Water Reuse – Issues, Technologies and Applications*. McGraw-Hill, 1<sup>st</sup> Edition, New York: USA, pp. 927-934.
- Asano, T.; Cotruvo, J. A. (2004) Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations. *Water Research*, 38, pp. 1941-1951.
- Ayers, R. S.; Westcot, D. W. (1985) *Water quality for agriculture*. Irrigation and Drainage; Paper nº29, Rev.1, FAO, Rome, 108 pp.
- Azevedo, A.; Pinheiro, J.; Matos, L.; Madruga, J. (2007) Estudo das condições técnicas de utilização das águas da ETAR da Praia da Vitória. *Revista de Ciências Agrárias*, 30, pp. 293-302.
- Belden, K.; Panter, L. K. (2005) *Salinity Problems in Turfgrass*. University of Wyoming. Department of Plants, Soil, and Insect Science. USA. B-1167, pp. 3-4.
- Beltrão, J. (2002) A Reutilização das águas residuais. 10º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - “*Uso Sustentável da Água*”, 16-19 de Setembro, Braga, Portugal, 15pp.
- Beltrão, J. (2005) *Recursos hídricos não convencionais. O caso da reutilização das águas residuais*. Suplemento do Manual de Engenharia – Águas Subterrâneas. Bombas Grundfos, Portugal, S.A., Lisboa, 17 pp.
- Blaylock, A. (1994) Soil Salinity, Salt Tolerance, and Growth Potential of Horticultural and Landscape Plants. University of Wyoming, Cooperative Extension Service, B-988, USA, 4pp.
- Costa, M. S. (2003) *Utilização de Águas Residuais Depuradas na Rega e de Lamas Urbanas como Fertilizante dos Solos do Algarve*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor na Faculdade de Engenharia de Recursos Naturais da Universidade do Algarve, 218 pp.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

- Decreto-Lei nº 236/98, de 1 de Agosto de 1998, estabelece normas, critérios e objectivos de qualidade com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função dos seus principais usos., Diário da República I Série A, nº178 (01-08-1998), pp. 3676-3715.
- Decreto-Lei nº 276/2009 de 2 de Outubro, sobre as quantidades máximas que poderão ser introduzidas anualmente nos solos agrícolas. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Rural, Diário da República nº192, 1ª série, pp. 7154-7165.
- Duarte, E.; Reis, I. B.; Martins, M.; Fragoso, R.; Hilário, L. (2003) Sensibilização para o Uso Eficiente da Água na Indústria - Definição de Metodologias Base. *Indústria & Ambiente*, 29, pp. 13-18.
- Egan, T. P.; Ungar, I. A. (1998) Effect of different salts of sodium and potassium on the growth of *Atriplex prostrata*. *J. Plant Nut.*, 21, pp. 2193-2205.
- Evanylo, G.; Ervin, E.; Zhang, X. (2010) Reclaimed water for Turfgrass irrigation. *Water*, 2, pp. 685-701.
- Feng X.; Chu, K. H. (2004) Cost optimization of industrial wastewater reuse systems. *Process Safety and Environmental Protection*, 82(B3), pp. 249-255.
- Glenn, E. P.; Brown, J. J. (1998) Effect of different soil salt levels on the growth and water use efficiency of *Atriplex canescens* - Varieties in drying soil. *American Journal of Botany*, 85(1), pp. 10-16.
- Glenn, E. P.; Brown, J. J.; Blumwald, E. (1999) Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18, pp. 227-255.
- Hamdy, A. (2002) Sustainable use and management of non-conventional water resources in the arid regions. *Acta Horticulturae*, 573, pp. 77-85.
- Harivandi, M. A.; Butler, J. D.; Wu, L. (1992) *Salinity and turfgrass culture*. In: DV Waddington, et al. (Eds.), *Turfgrass Agronomy Monograph*, No. 32. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 207-229.
- Horta-Monteiro, M. C. (1994) *Utilização de Água Residual Urbana na Cultura de Azevém (Lolium multiflorum Lam.)*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre no Instituto Superior de Agronomia – Universidade Técnica de Lisboa, Portugal, 149 pp.
- Horta-Monteiro, M. C.; Pinto, F. C.; Santos, J. Q. (1995) Influência da Rega com água residual urbana nos teores em Ca, Mg e Na no solo e no Azevém. *Pastagens e Forragens*, 16, pp. 331-340.



*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

- IRAR – Instituto Regulador de Águas e Resíduos (2007) *Recomendação nº 2/2007 – Utilização de águas residuais tratadas*. IRAR, Lisboa, Portugal, 13pp.
- ISO 5663 (1984) *Water quality - Determination of Kjeldahl nitrogen - Method after mineralization with selenium*. ISO Standard Compendium, Environment, Water Quality, vol. 2, Chemical Methods, 1<sup>st</sup> Edition, ISO (ed.).
- ISO 5664 (1984) *Water quality - Determination of ammonium - Distillation and titration method*. ISO Standard Compendium, Environment, Water Quality, vol. 2, Chemical Methods, 1<sup>st</sup> Edition, ISO (ed.).
- ISO 7888 (1985) *Water quality – Determination of electrical conductivity*. ISO Standard Compendium, Environment, Water Quality, vol. 3, Physical, Biological and Microbiological Methods, 1<sup>st</sup> edition, ISO (ed.), pp. 25-30.
- ISO 7980 (1986) *Water quality -- Determination of calcium and magnesium -- Atomic absorption spectrometric methods*. ISO Standard Compendium, Environment, Water Quality, vol. 2, Chemical Methods, 1<sup>st</sup> Edition, ISO (ed.).
- Jones, J. B. (2003) *Agronomic Handbook, Management of Crops, Soils, and Their Fertility*. CRC Press LLC, Boca Raton, pp. 228-234.
- Kingery, W.L.; Wood, C.W.; Delaney, D.P.; Williams, J.C.; Mullins, G.L.; Van Santen, E. (1993) Implications of long-term land application of poultry litter on tall fescue pastures. *J. Prod. Agric.*, 6, pp. 390–395.
- Mano, António P.; Pombo, Sónia C.; Barros, Lúcia C. (2006) *Reutilização de Água Residual Urbana Tratada para Rega*. 8<sup>o</sup> Congresso da Água, 13 a 17 Março, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, Figueira da Foz, Portugal.
- MAOT (2001) *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. Estudo elaborado pelo LNEC com apoio do ISA, Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território, Instituto da Água, pp. 48-178.
- Marecos do Monte, M. H. (1994) *Contributo para a reutilização de águas residuais tratadas para irrigação em Portugal*. Dissertação para obtenção do Grau de Doutor. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico, 508 pp.
- Marecos do Monte, M. H.; Albuquerque, A. (2010) *Reutilização de águas residuais*. Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos & Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa. pp. 5-151.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*

- Microbiotests (2011) *Phytotoxkit Microbiotests*. Consultado em Janeiro de 2011 em: [www.microbiotests.be](http://www.microbiotests.be).
- Mohammad, M. J.; Mazahreh, N. (2003) Changes in soil fertility parameters in response to irrigation of forage crops with secondary treated wastewater. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34 (9 & 10), pp. 1281–1294.
- Nasr, Z.; Ben Mechlia, N. (2002) Deficit irrigation to reduce salinization in an apple orchard. *Acta Horticulturae*, pp. 283-287.
- Neylan, J. (2002) Management of treated effluent water for Turf. *Australian Turfgrass Management Journal*, 4.3, pp. 31-33.
- NP 4434 (2005) Norma Portuguesa sobre *Reutilização de águas residuais urbanas tratadas para rega*. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 28 pp.
- Pereira, A. (2009) Avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de águas residuais como instrumento associado à reutilização da água na rega de campos de golfe. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade do Algarve, Faro, 178 pp.
- Santos, J. Q. (2001) Fertilização e Ambiente – Reciclagem Agro-Florestal de resíduos e efluentes. Publicações Europa – América, Portugal, pp. 75-128.
- Sousa, G. (2009) *Diagnóstico de uma ETAR como suporte à decisão para reutilização do efluente tratado – Caso de estudo da ETAR de Coruche*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre, Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, 82 pp.
- Stagnitti, F.; Hamilton, A.; Versace, V.; Ierodiconou, D. (1998) *Wastewater reuse: Environmental Impacts and Risk Assessment*. School of Life and Environmental Science, Deakin University, Australia, 10pp.
- Tesar, M. B.; Knezek, B. D.; Hook, J. E. (1982) Management Studies of Annual Grasses and Perennial Legumes at the Michigan State University Water Quality Facility. *Land Treatment of Municipal Wastewater: Vegetation Selection and Management*; D'Itri, F.M., Ed.; Ann Arbor Science: Ann Arbor, MI, USA. pp. 79-105.
- USEPA (2004) Guidelines for Water Reuse. Report EPA/625/R-04/108, Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA, pp. 13-20.
- USEPA method nº 3051A (2007) Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils and oils. USEPA (ed.), Revision 1, February, 30 pp.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.*  
*Caso estudo: ETAR da ETVÓ – Valorsul*

Valorsul (2004) Memória Descritiva e Caderno de Encargos da ETVÓ - Integração Paisagística. Valorsul, Lisboa, 11 pp.

Valorsul (2011). Consultado em: Abril de 2011, em [www.valorsul.pt](http://www.valorsul.pt)

Vazquez-Montiel, O.; Horan, N. J., Mara, D. D. (1996) Management of domestic wastewater for reuse in irrigation, *Water Science and Technology*, 33(10–11), pp. 355–362.

WHO (2006) *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. Wastewater use in Agriculture, Vol. II, World Health Organization, pp. 107-126.

*Estudo da reutilização de uma água residual tratada na rega paisagística.  
Caso estudo: ETAR da ETVO – Valorsul*